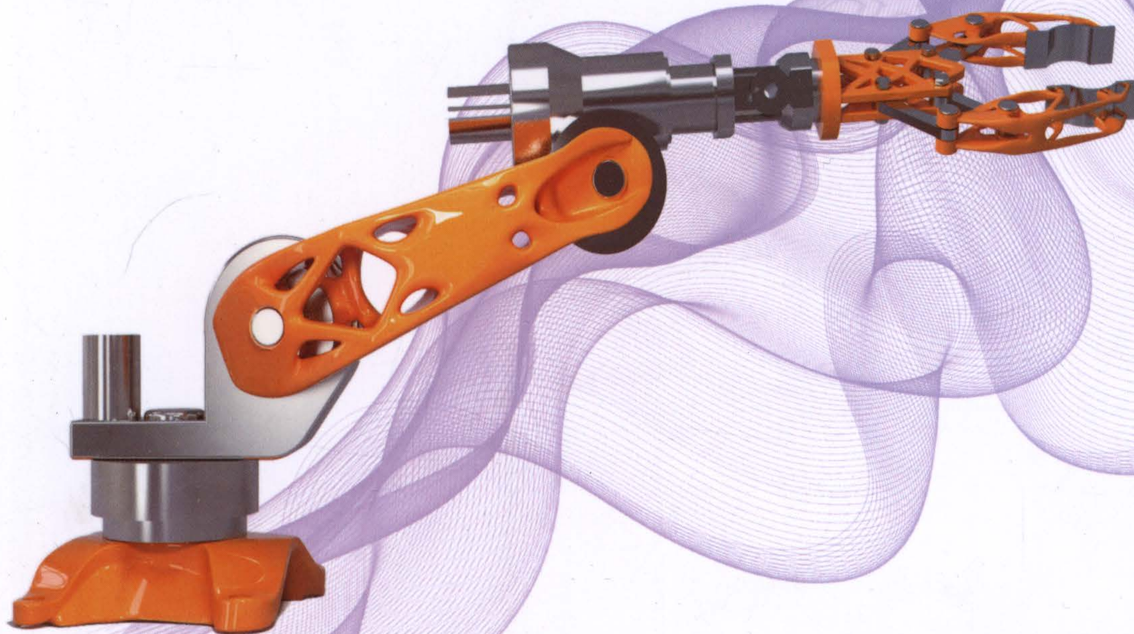
solidThinking 进阶学习教程 〉 〉〉〉 〉



solidThinking Inspire
优化设计基础与工程应用

徐成斌 路明村 张卫明 编著



关注机械工业出版社计算机分社官方微信订阅号“IT 有得聊”，即可获得本书配套资源，包含全部案例素材文件和操作教学视频



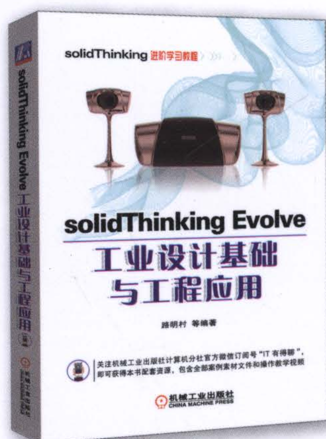
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



VISIT…

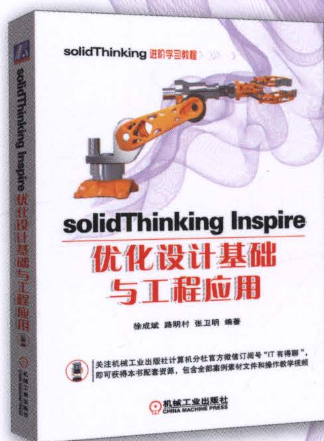
LANZAROTE Caliente.COM

solidThinking 进阶学习教程



solidThinking Evolve
工业设计基础与工程应用

路明村 等编著



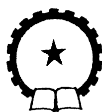
solidThinking Inspire
优化设计基础与工程应用

徐成斌 路明村 张卫明 编著

solidThinking 进阶学习教程

solidThinking Inspire 优化设计基础与工程应用

徐成斌　路明村　张卫明　编著



机 械 工 业 出 版 社

本书详细介绍了 solidThinking 的拓扑优化软件 Inspire 的功能、使用方法，并介绍了使用该软件解决工程问题的案例。通过具体的软件操作过程帮助读者掌握软件功能以及在一些特殊工程情况下的使用技巧。

本书针对读者包括希望学习 solidThinking 软件的工程技术人员、高校学生和相关专业的教师。

图书在版编目（CIP）数据

solidThinking Inspire 优化设计基础与工程应用 / 徐成斌，路明村，张卫明编著．—北京：机械工业出版社，2016.12

solidThinking 进阶学习教程

ISBN 978-7-111-55592-6

Ⅰ．①s…　Ⅱ．①徐…　②路…　③张…　Ⅲ．①工业设计－计算机辅助设计－应用软件－教材　Ⅳ．①TB47-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 294844 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）

策划编辑：张淑谦　责任编辑：张淑谦

责任校对：张艳霞　责任印制：

印刷（　　　装订）

2017 年 1 月 • 第 1 版 • 第 1 次印刷

184mm×260mm • 16.5 印张 • 398 千字

0001－3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-55592-6

定价：49.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务　　网络服务

服务咨询热线：（010）88361066　　机 工 官 网：www.cmpbook.com

读者购书热线：（010）68322694　　机 工 官 博：weibo.com/cmp1952

（010）88379203　　教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版　　金 书 网：www.golden-book.com

序

Altair 公司成立于 1985 年，以工程咨询服务起家。历经三十余载的不断探索，解决方案已全方位覆盖建模与可视化、线性与非线性分析、结构优化、CFD 及多体动力学仿真、电磁分析，以及云仿真和高性能计算，帮助大量客户实现了以仿真驱动的产品创新。

长期以来，我们一直倡导“仿真驱动设计”的理念。仿真的价值并非仅限于虚拟验证，更应该在产品研发早期以优化来指导设计，加速企业研发周期，提升产品性能。由此，Altair 致力于打造一个专门面向设计人员的仿真平台——solidThinking。

solidThinking 是源自意大利的老牌工业设计软件，曾在概念建模方面有着不俗的表现。自 2008 年成为 Altair 旗下产品后，solidThinking 逐渐发展成为集拓扑优化（Inspire）、创意造型（Evolve）、铸造仿真（Click2Cast）、钣金冲压仿真（Click2Form）、挤压成型仿真（Click2Extrude）、多学科系统建模仿真与优化（Activate）、基于模型的嵌入式系统开发（Embed）、科学和工程设计数值计算环境（Compose）、数据可视化分析（Envision）等于一体的仿真工具体系。

由 solidThinking 提供的设计流程中，拓扑优化工具 Inspire 帮助设计人员快速获得满足性能且轻量化的结构，大大缩短了研发中所耗费的时间和成本。极具颠覆精神的 Inspire 软件一经推出就获得了众多颇具分量的软件大奖。Evolve 则将设计人员从以工程为主导的 CAD 工具中解放出来，完成工程设计与工业设计的融合，这些都足以革新传统设计流程，让整个研发周期提速。

同时，随着 3D 打印（增材制造）技术的迅速发展，越来越多的企业尝试以这种技术来提升研发能力与制造效率。3D 打印技术特别适用于结构复杂且高性能的产品，这正好是拓扑优化的特点所在。可以说，拓扑优化与 3D 打印相得益彰。而 Altair 也很早就看到了二者结合所迸发的重要价值，基于 solidThinking 推出了适于增材制造的设计软件解决方案，并已在全球范围内的航空航天、汽车、建筑等领域得到应用及验证。

在这样的背景下，我们组织编写了 solidThinking 进阶学习教程系列丛书，本书正是该系列中专注于 Inspire 的一部。本书充分结合了拓扑优化理论基础和工程应用经验，读者可快速将要点应用于自身的设计项目中，可以说是一部设计人员必备的手边书。相信本书能给读者带来耳目一新的拓扑优化知识学习体验，切实提升工作效率。

我们鼓励广大读者借助 solidThinking 平台在各领域深入探索，同时也衷心期待大家的宝贵建议，以利于我们不断完善和提升软件功能，与大家一同进步。



刘源博士

Altair 大中国区总经理

前　　言

近年来，随着计算机计算性能的提升和商业软件的普及，结构优化设计工作已不再需要大型计算机夜以继日的运算，而且有越来越多的设计工程师可以在设计前期就使用这一技术进行结构骨架搭建，这极大地提高了产品性能及设计迭代的效率。Altair 公司的 solidThinking Inspire 软件就是这类软件中的佼佼者，而国内市场上还没有关于这一软件的教学用书。编写本书就是为配套 solidThinking Inspire 软件教学，使学习者可以系统地掌握软件功能，将优化技术应用于日常设计工作中。

本书以操作步骤为主，由模型实例引入操作方法和技巧，帮助读者切实地理解优化理念和软件。每个章节还包含对应知识点的扩展阅读，这些内容来自工程实践的经验，或是横向功能的使用技巧说明，或是在前面练习中没有用到的一些分支选项的说明。

本书成书时使用的软件版本是 solidThinking Inspire 2016，随着软件版本的更新，在操作界面和默认设置方面也必然会有一些变化，请读者朋友在使用本书学习时，注意版本的差异。

由于编者水平所限，书中错误、疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

目　录

序
前言

第 1 章　快速入门 …… 1

1.1 认识界面 …… 2
1.2 用户偏好设置 …… 3
1.3 打开支架模型 …… 5
1.4 施加力和位移并进行运行分析 …… 5
1.5 设定设计空间，添加形状控制并运行优化 …… 7
1.6 探索优化结果 …… 10
1.7 以文件格式保存优化后的形状 …… 10
1.8 优化步骤流程图 …… 11
1.9 扩展阅读 …… 12

第 2 章　基本操作 …… 14

2.1 探索功能区 …… 15
2.2 打开“双托架” …… 16
2.3 使用视图控制 …… 17
2.4 显示和隐藏零件 …… 18
2.5 施加力和拔模方向 …… 20
2.6 编辑力和拔模方向 …… 22

第 3 章　移动和捕捉 …… 25

3.1 导入模型 …… 26
3.2 利用捕捉到点工具对齐托架 …… 28
3.3 对齐铰链 …… 30
3.4 复制并对齐螺母及螺栓 …… 32
3.5 复制、平移和旋转托架 …… 34
3.6 组织模型 …… 38

第 4 章　草绘和优化 …… 42

4.1 草绘一个长方形，并拉伸出一个实体 …… 43
4.2 使用封闭曲线创建一个孔 …… 46
4.3 使用开放曲线剪切实体 …… 49
4.4 创建一个长方形的桥基座 …… 53
4.5 施加固定约束 …… 57

4.6 定义设计空间 …… 61
4.7 施加一个压力 …… 64
4.8 施加形状控制 …… 66
4.9 运行优化，生成形状 …… 67
4.10 探索优化结果 …… 69
4.11 扩展阅读 …… 71

第 5 章 探索多种载荷工况 …… 77

5.1 打开 Y-bracket 模型 …… 78
5.2 定义设计空间 …… 78
5.3 创建一个中心孔约束和第一个载荷工况 …… 79
5.4 施加力到 Boss 材料 …… 80
5.5 利用右键菜单创建第二个载荷工况 …… 82
5.6 通过单击并拖动创建第三个载荷工况 …… 85
5.7 施加对称平面 …… 89
5.8 施加单向拔模方向 …… 90
5.9 运行优化 …… 91
5.10 探索优化后的形状 …… 94
5.11 改变设计空间，重新运行优化 …… 96
5.12 扩展阅读 …… 99

第 6 章 准备 CAD 几何模型 …… 102

6.1 导入 CAD 模型 …… 103
6.2 复制参考几何 …… 103
6.3 拉伸草绘曲线使其成为一个实体 …… 105
6.4 使用相交工具创建踏板 …… 106
6.5 复制独立曲线 …… 108
6.6 使用相交工具创建主缸 …… 110
6.7 使用草图工具追踪曲线 …… 111
6.8 使用相交工具创建联结 …… 112
6.9 定义设计空间 …… 114
6.10 扩展阅读 …… 116

第 7 章 质量最小化 …… 120

7.1 导入后置式托架模型 …… 121
7.2 施加挤出形状控制 …… 122
7.3 检查载荷工况 …… 122
7.4 使用应力约束运行优化，以达到质量最小化 …… 125
7.5 更改应力约束 …… 128
7.6 对比优化结果 …… 130
7.7 查看设计违规 …… 131
7.8 施加位移约束 …… 132
7.9 施加位移约束后重新运行优化 …… 134
7.10 扩展阅读 …… 136

第 8 章 运行基线分析 ······ 142

8.1 打开基线分析模型 ······ 143
8.2 运行基线静态分析 ······ 143
8.3 查看安全系数结果 ······ 145
8.4 查看位移结果 ······ 147
8.5 查看米塞斯等效应力结果 ······ 148
8.6 查看拉伸与压缩的结果 ······ 149
8.7 扩展阅读 ······ 150

第 9 章 简化几何体 ······ 152

9.1 打开几何体简化模型 ······ 153
9.2 删除孔和凹处 ······ 153
9.3 查找圆角和倒角 ······ 154
9.4 删除圆角和倒角 ······ 156
9.5 推/拉内表面 ······ 159
9.6 扩展阅读 ······ 160

第 10 章 分析生成的形状 ······ 162

10.1 打开“生成设计概念模型” ·· 163
10.2 查看优化结果 ······ 164
10.3 分析生成的形状 ······ 164
10.4 查看安全系数结果 ······ 165
10.5 查看位移结果 ······ 167
10.6 查看米塞斯等效应力结果 ······ 168
10.7 查看拉伸与压缩的结果 ······ 169
10.8 打开质量计算 ······ 169
10.9 使面适应生成的形状 ······ 170
10.10 修改生成的形状并再次对面进行自适应操作 ······ 171
10.11 扩展阅读 ······ 172

第 11 章 创建连接 ······ 174

11.1 打开四轴飞行器模型 ······ 175
11.2 查看接触 ······ 175
11.3 寻找对齐的孔 ······ 176
11.4 创建螺母和螺栓 ······ 176
11.5 添加螺栓连接 ······ 178
11.6 自动创建螺栓连接 ······ 180
11.7 创建接地螺栓 ······ 182
11.8 重新定义接触 ······ 184
11.9 扩展阅读 ······ 187

第 12 章 分析具有接触的模型 ······ 189

12.1 打开活动连接杆模型 ······ 190
12.2 在对齐的孔中创建螺母和螺栓 ······ 190

12.3 单个孔中创建螺母和螺栓······191
12.4 运行分析并查看结果············192
12.5 重新定义接触······················195
12.6 使用“滑动接触”选项重新运行分析并查看结果············196
12.7 单独显示托架并观察位移······198
12.8 使用“可分离的滑动接触”选项重新运行分析并查看结果······200
12.9 单独显示托架并观察位移······202
12.10 扩展阅读·····························204

第 13 章 保存和导出文件······································206

13.1 打开桥体模型······················207
13.2 以文件格式保存优化后的形状·····································207
13.3 将优化后的形状导出至Evolve·································208
13.4 扩展阅读·····························209

第 14 章 曲面建模··211

14.1 分析曲面模型······················212
14.2 导入 CAD 并分配厚度·········214
14.3 使用“中面”工具创建曲面··215
14.4 使用“补块”工具创建曲面···219
14.5 优化 2D 曲面模型················221
14.6 扩展阅读·····························224

第 15 章 PolyNURBS 建模···································227

15.1 打开桥体模型······················228
15.2 创建剖切·····························228
15.3 包覆优化后的形状················229
15.4 编辑 PolyNURBS················231
15.5 包覆桥体顶部······················234
15.6 关闭剖切并对齐箱体的面······237
15.7 镜像 PolyNURBS················238
15.8 为镜像后的零件应用桥接······241
15.9 对最终的 PolyNURBS 对象执行布尔运算······················241
15.10 扩展阅读·····························243

第 16 章 对比结果··246

16.1 打开模型并查看分析结果······247
16.2 对比分析结果······················248
16.3 为模型添加数据明细············249
16.4 对比优化结果······················250
16.5 对比重新分析的结果············252
16.6 扩展阅读·····························253

第 1 章

快速入门



本章以三角托架的设计优化为案例，帮助读者快速了解 solidThinking Inspire 软件的优化全流程。读者在本章中应注意整体流程概况，而不必纠结于具体的操作细节，更多的细节及灵活使用方法将在之后的章节逐一介绍。

本章要点如下：

- **认识界面**。
- **用户偏好设置**。
- **零件的分析与优化**。
- **查看结果**。

1.1 认识界面

solidThinking Inspire 软件的工作区被划分为多个部分，主要包括菜单、工具栏、模型视窗、模型浏览器和属性浏览器。模型浏览器和属性编辑器默认隐藏，若要打开，则可按〈F2〉键和〈F3〉键。

用户可以通过编辑菜单中的首选项窗口对工作区进行自定义设置，如图 1-1 所示。

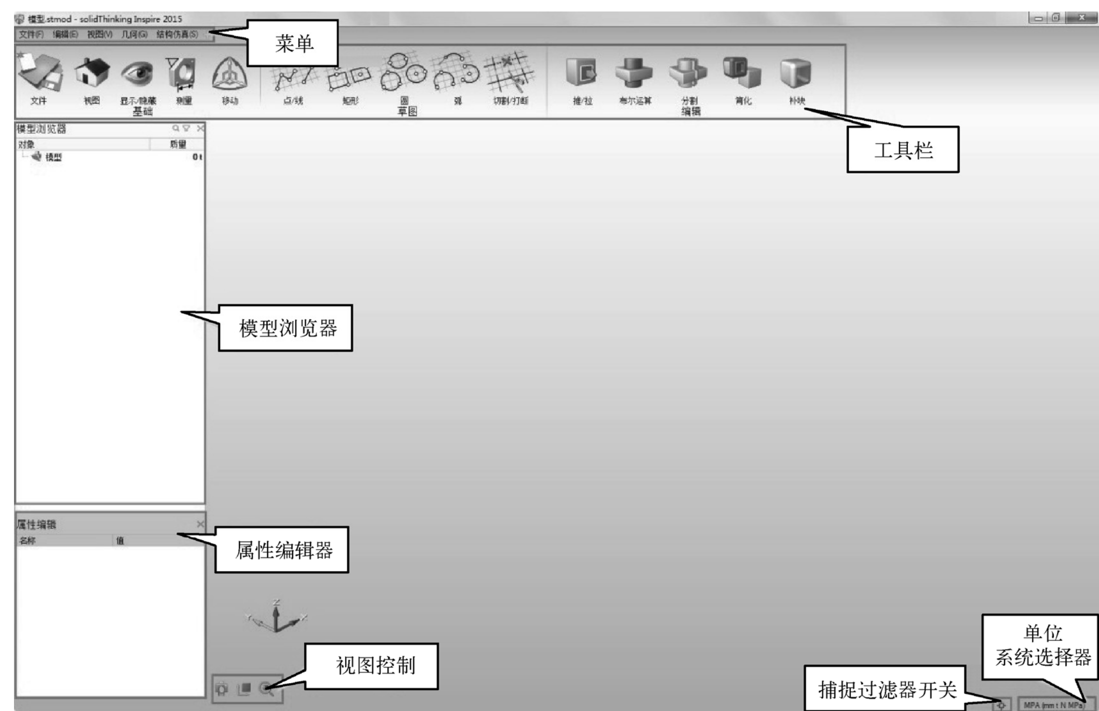


图 1-1

1. 菜单

“文件”“编辑”“视图”和“帮助”下拉菜单提供了一些基本功能，如“新建”“打开”和“保存”，“撤销”和“恢复”，以及“剪切”、“复制”和“粘贴”。通过下拉菜单也可打开系统首选项、命令窗口、帮助和教程以及许可证向导。

2. 工具栏

工具栏包括各种分组排列的建模、分析和优化工具。单击图标，可打开相关工具。将光标悬停在图标组上可显示其他卫星图标。如果屏幕分辨率小于 1440×900px，则一些工具将显示在工作区左侧。

3. 模型视窗

模型视窗用于显示模型和视图控制。

4. 模型浏览器

模型浏览器采用树形结构显示模型中所有的对象。按〈F2〉键或使用视图菜单即可打开模型浏览器。

5. 属性编辑器

属性编辑器用于显示和编辑所选对象的所有属性。按〈F3〉键或使用视图菜单即可打开属性编辑器。

6. 捕捉过滤器

捕捉过滤器用于启用和禁用各种类型的捕捉，其位于工作区底部的状态栏中。

7. 单位系统选择器

单位系统选择器用于更改默认的单位系统，其位于工作区底部的状态栏中。

1.2 用户偏好设置

solidThinking Inspire 允许用户根据自己的操作习惯调整偏好设置，如鼠标习惯、默认材质、视图习惯等默认选项，以提高使用效率，如图 1-2 所示。下面介绍将软件默认设置修改为适用于绝大多数国内用户习惯的操作方法。



图 1-2

1）修改设置：选择 Modeling Space→Move or Box select→Move 选项，如图 1-3 所示。

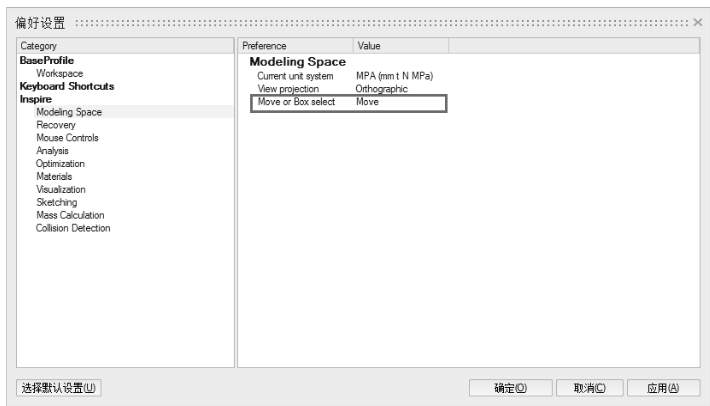


图 1-3

2）修改设置：选择 Mouse Controls→Same as 选项，如图 1-4 所示。

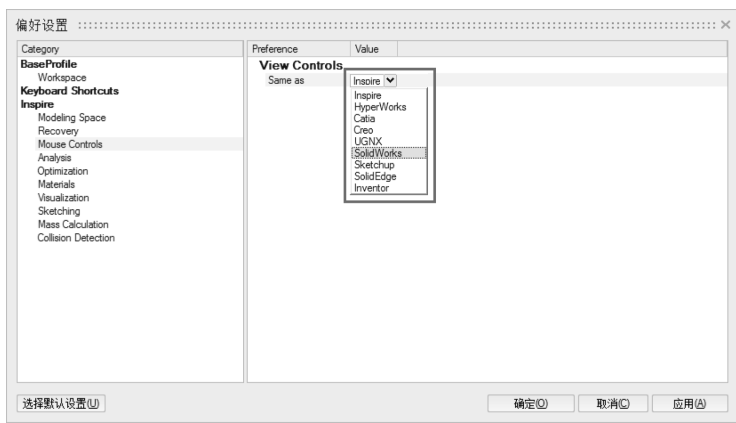


图 1-4

3）修改设置：选择 Analysis→Number of CPUS 选项，可以提高计算速度。选择 Analysis→Analysis Legend Colors→Rainbow 选项，可以提高分析结果可视化程度，如图 1-5 所示。

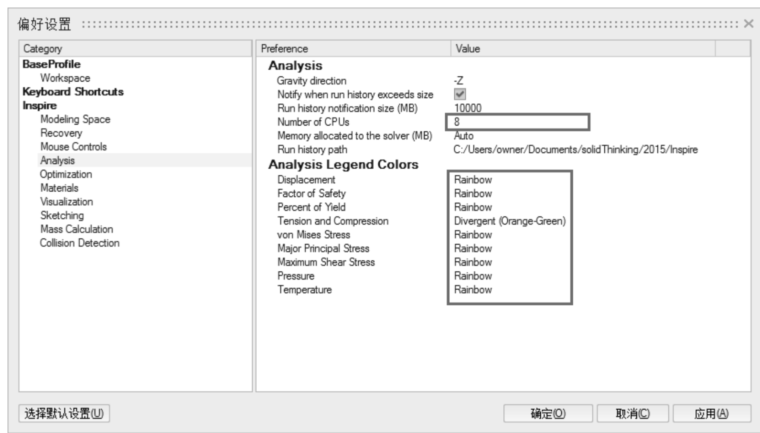


图 1-5

4）修改设置：选择 Optimization→Number of CPUS 选项，可以提高计算速度，如图 1-6 所示。

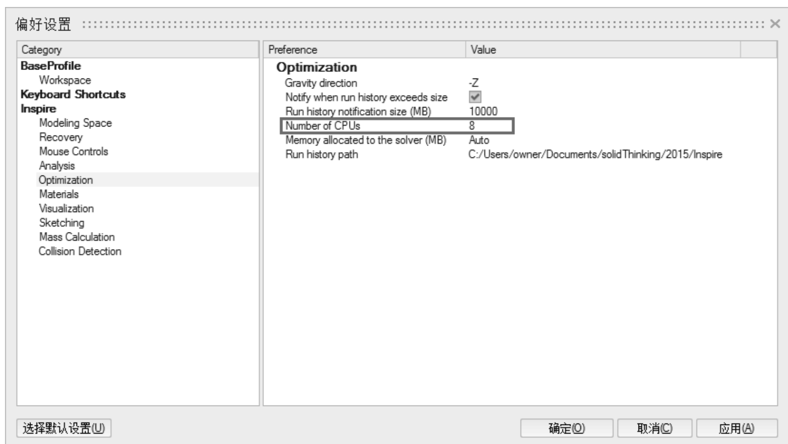


图 1-6

1.3 打开支架模型

1）打开 solidThinking Inspire 软件。

2）单击“文件”中的“打开模型”。

3）在“打开文件”窗口中，选择“Tutorials”文件夹。

4）选择文件“三角支架.stmod”并打开，打开的零件材料已定义为 AISI 304（304 不锈钢），如图 1-7 所示。

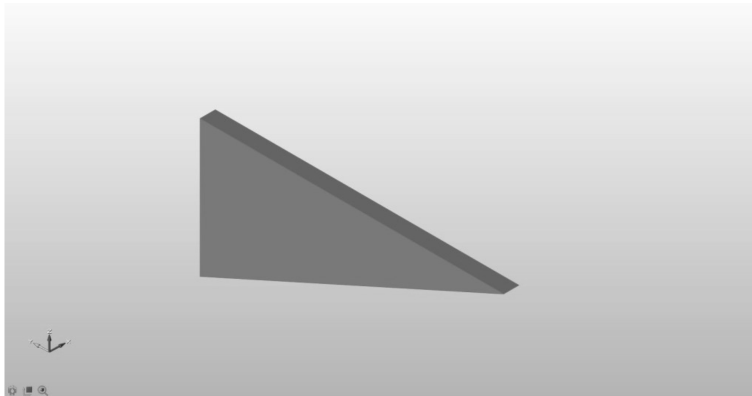


图 1-7

1.4 施加力和位移并进行运行分析

1）要固定三角支架，请选择载荷图标上的约束工具。

2）单击三角支架较短的直角边以固定三角支架，如图 1-8 所示。

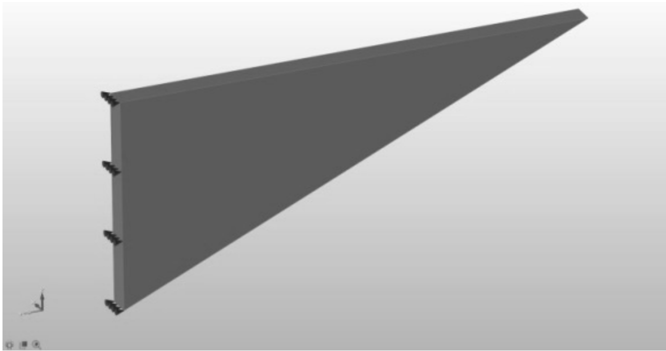


图 1-8

3）选择载荷图标上的力工具，单击支架上部，在文本框中输入 1000N，方向为 Z-，如图 1-9 所示。

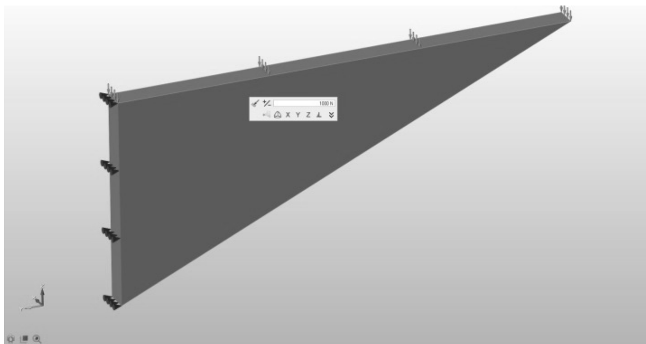


图 1-9

4）单击鼠标右键，完成力定义。

5）单击分析工具图标上的运行分析按钮，打开“运行分析”对话框，如图 1-10 所示。



图 1-10 “运行分析”对话框

6）单击“运行”按钮，弹出“运行状态”对话框，分析完成后会出现一个绿色勾选标记（这可能需要几分钟），如图 1-11 所示。



图 1-11

7）双击运行的名称查看结果。分析结果显示在分析探索器中，如图 1-12 所示。

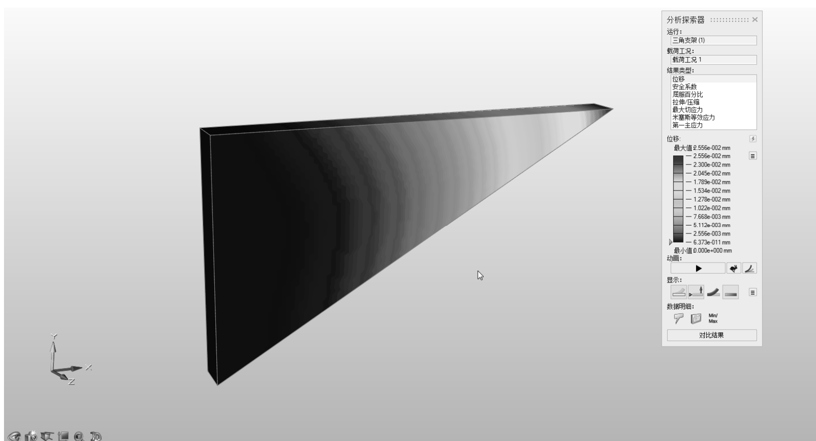


图 1-12

以上结果表示该设计有大量的设计冗余，结构可以优化。

1.5 设定设计空间，添加形状控制并运行优化

下面添加一些优化条件并运行优化。

1）在结构仿真功能区中的形状控制图标上选择对称工具。

2）从二级功能区中选择对称的工具 。

3）此时选择三角支架，并激活如图 1-13 所示方向，表示产生的形状的轮廓会保留一个与拔模方向同向的等截面。

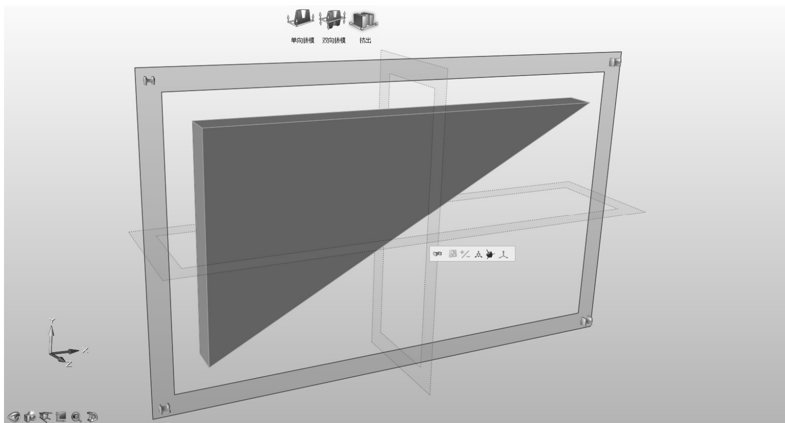


图 1-13

4）用鼠标右键单击三角支架零件，在弹出的快捷菜单中选中“设计空间”，如图 1-14 所示。

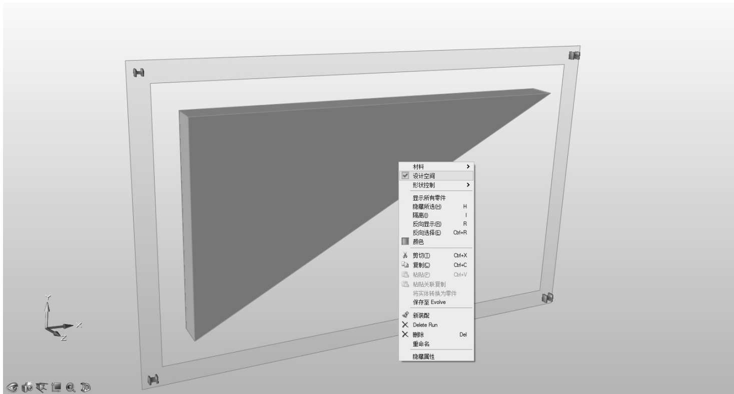


图 1-14

设计空间将会以深红色显示，如图 1-15 所示。

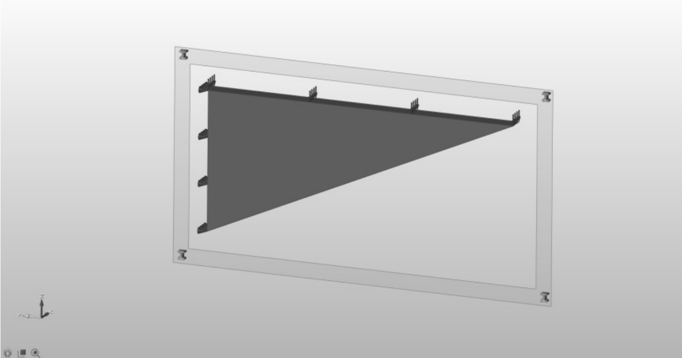


图 1-15

5）单击结构仿真功能区上优化图标中的运行优化按钮 ▶，弹出“运行优化”对话框，如图 1-16 所示。



图 1-16

6）选择最大刚度作为优化目标。

在“质量目标”下拉列表中选中“%的设计空间总体积”，并且选中“30”，表明生成的形状占设计空间总材料的 30%，图 1-17 所示。

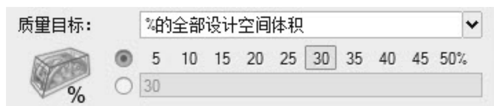


图 1-17

7）在“厚度约束”选项区的“最小化”文本框中输入 8mm，如图 1-18 所示。

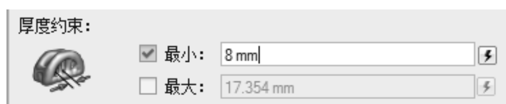


图 1-18

8）单击“运行”按钮来运行优化，此时弹出一个警告对话框，如图 1-19 所示。在此案例中不影响结果，在以后课程中将详细讨论。

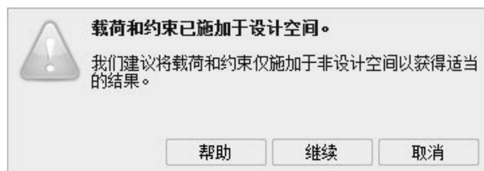


图 1-19

9）运行成功完成后，进度条会变成一个绿色圆圈，如图 1-20 所示。



图 1-20

10）双击绿色的，生成的形状即会显示在模型视窗中，如图 1-21 所示。

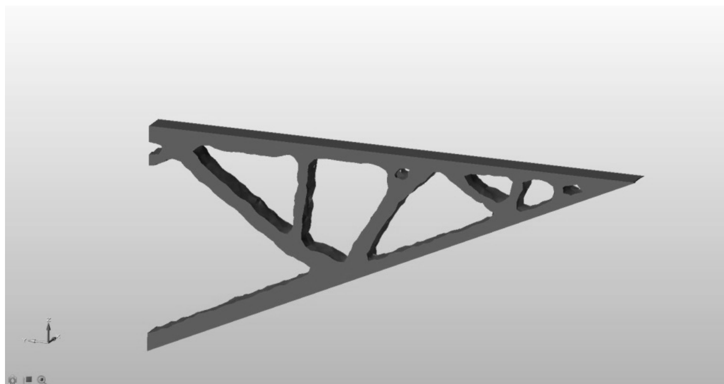


图 1-21

1.6 探索优化结果

1）查看优化后的形状时，形状探索器出现在模型视窗的右上角，如图 1-22 所示。

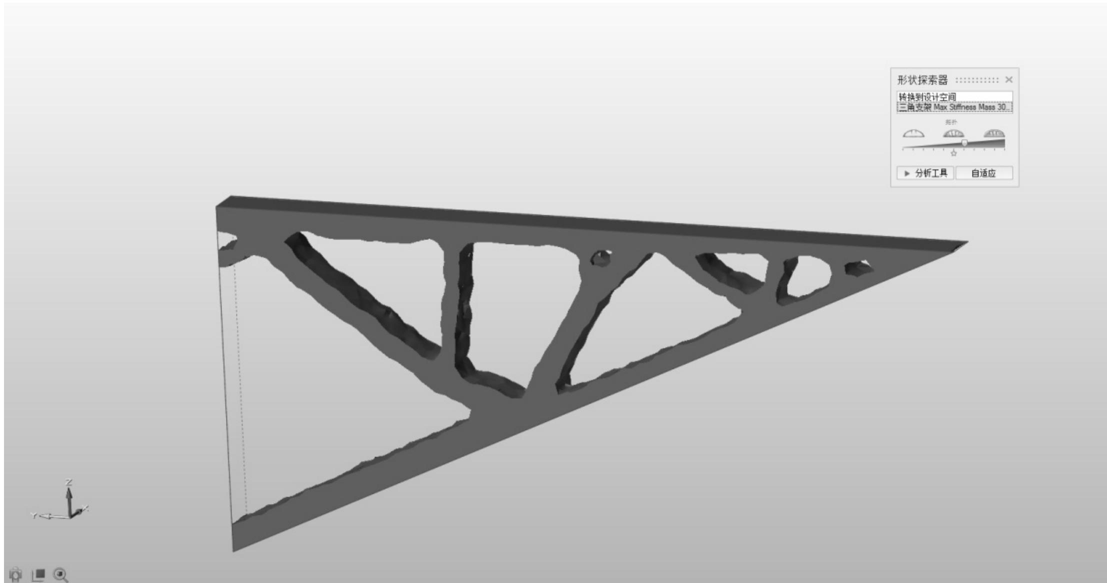


图 1-22

2）单击并拖动形状探索器中的拓扑滑块，增加或减少设计空间中的材料，如图 1-23 所示。



图 1-23

1.7 以文件格式保存优化后的形状

1）在模型视窗中选择优化结果。

2）单击“文件”→“保存所选”命令，如图 1-24 所示。



图 1-24

3）在“保存类型下”下拉列表中选择“STL(*.stl)”并单击保存，形状即保存为标准 STL 格式，适合快速成型以及导出至其他应用程序中，如图 1-25 所示。



图 1-25

4）完成建模后，将新模型重新导入 Inspire，重复 1.4 节加载仿真的步骤，以检验新设计是否完全满足设计要求，如有必要，可以进一步重复 1.5 节、1.6 节、1.7 节的步骤，迭代优化以得到更优的解决方案。

1.8 优化步骤流程图

Inspire 优化设计步骤流程如图 1-26 所示。

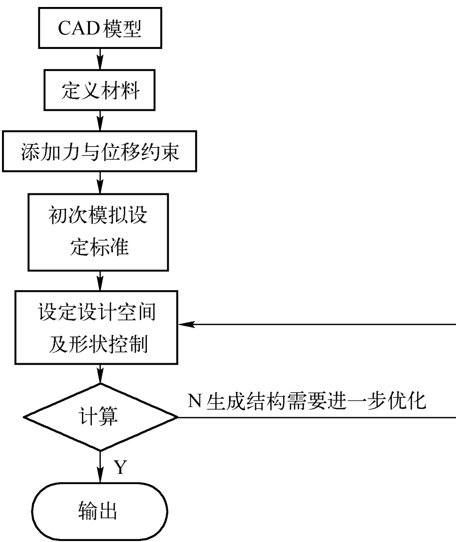


图 1-26

这是基本流程图，在后续的章节中我们会在此基础上逐渐增加一些如简化模型、迭代优化的可选步骤。但所有的内容都将以本流程为基础，请掌握本流程以利后续学习。

1.9 扩展阅读

使用快捷键操作可大大提高操作效率，Inspire 默认的快捷键设置继承了 Windows 和大多数 CAD 软件的操作习惯（见表 1-1），用户也可以根据自己的操作习惯在“偏好设置中”进行修改。

表 1-1

功　能	快 捷 键	描　述
	显示和隐藏	
显示所有零件/隐藏所有零件	A	显示 所有零件。如果已显示所有零件，则 隐藏所有零件
隐藏所选对象	H	隐藏 所选对象
隔离所选对象	I	隔离 所选对象，隐藏其他对象
反转零件可见性	R	反转隐藏和显示零件的可见性
	视图控制	
中心视图	C	按〈C〉键并单击模型上的一个点，即可以该点作为视图的中心
自适应视图	F	使视图适应所选零件。如果没有选中任何零件，则使视图适应所有显示的零件。连续按〈F〉键可使视图以选中的零件为中心不断进行调整，直到适应所有显示的零件时为止
旋转至最近的主轴	N	旋转模型至最近的主轴
法向视图 + 正射投影	Shift+N	旋转视图使其垂直于草绘平面，并且从透视投影切换到正射投影
模型浏览器	F2	激活模型浏览器
属性编辑器	F3	激活属性编辑器

（续）

功　　能	快 捷 键	描　　述
命令窗口	F4	激活命令窗口
模型配置	F5	激活“模型配置”工具栏
PolyNURBS 透明度	Alt + 滚动	在 PolyNURBS 编辑模式中更改基本形状的透明度
全屏	Ctrl+Alt+F11	扩展应用程序窗口到全屏
		选择
暂停捕捉	Alt	按〈Alt〉键可临时暂停网格捕捉
全选	Ctrl+A	选择当前所选类型的所有对象
反选	Ctrl+R	反向进行当前选择，即将选中的对象取消选定
退出工具	Esc	退出激活的工具
		移动和旋转
移动工具	M 或 T	激活 移动 工具
		文件
新建	Ctrl+N	新建模型
打开	Ctrl+O	打开文件
导入	Ctrl+I	导入文件
保存	Ctrl+S	保存文件
另存为	F12	文件另存为
保存所选	Shift+F12	保存所选对象
退出	Ctrl+Q	退出应用程序
		编辑
剪切	Ctrl+X	剪切当前所选对象
复制	Ctrl+C	复制所选对象到剪切板
粘贴	Ctrl+V	粘贴剪贴板内容
删除	Delete	删除所选对象
撤销	Ctrl+Z	撤销上一步操作
重做	Ctrl+Y	重做上一步操作
退出激活的工具	Esc	退出激活的工具
		建模
推/拉面	P	激活推/拉工具
		帮助
上下文相关帮助	F1	激活上下文相关在线帮助
Inspire 欢迎页面	Ctrl+F1	激活在线帮助的“欢迎使用 Inspire”主题

第 2 章

基本操作



本章主要介绍导入文件、视图控制、显示和隐藏零件等基本操作。

本章要点如下：

- **功能区**。
- **导入文件**。
- **视图控制**。
- **显示和隐藏零件**。
- **创建和编辑力**。
- **创建和编辑拔模方向**。

2.1 探索功能区

1）打开 solidThinking Inspire。

2）应用程序顶端的功能区包含了 solidThinking Inspire 中可用的所有工具，如图 2-1 所示。



图 2-1

3）单击功能区上的每个图标可以获取一个或多个工具。当鼠标移动到某个图标上时，相应的单个工具即会高亮显示并附带黄色边框。

4）单击菜单旁边的 ➕ 图标，可以创建自定义功能区。

5）单击“自定义”查看自定义的功能区，如图 2-2 所示。

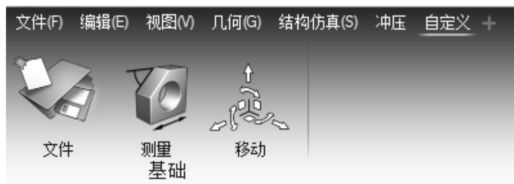


图 2-2

6）将功能区上的工具图标拖放至“自定义”选项卡，还可以通过拖放操作在自定义选项卡上重新排列图标的顺序，如图 2-3 所示。



图 2-3

7）用鼠标右键单击图标对其进行重命名或删除，如图 2-4 所示。

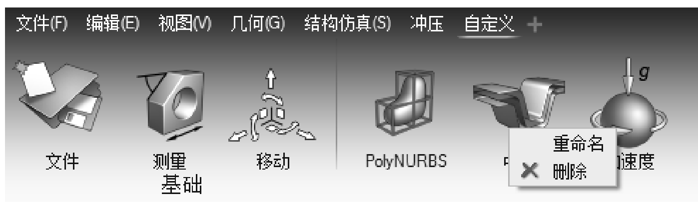


图 2-4

2.2 打开“双托架”

可以使用文件图标上的工具创建、打开和保存模型。

1）单击文件图标中的打开模型，如图 2-5 所示。

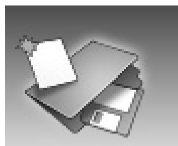


图 2-5

2）在“打开文件”对话框中，找到 Tutorials 文件夹。

- 对大多数 Inspire 用户来说，安装目录位于计算机 C:盘下的 Program Files\Inspire\<sT 版本号>或 Program Files (x86)\Inspire\<sT 版本号> 文件夹中。
- 对大多数 solidThinking 用户来说，安装目录位于计算机 C:盘下的 Program Files\solidThinking\<sT 版本号>或 Program Files (x86)\solidThinking\<sT 版本号>文件夹中。
- 对大多数 HyperWorks 用户来说，安装目录位于 Program Files\Altair\<HyperWorks 版本号>\sTDesign<sT 版本号>或 Program Files (x86)\Altair\<HyperWorks 版本号>\sTDesign<sT 版本号>文件夹中。

3）从 Tutorials 目录下选择 dual bracket.stmod 文件，如图 2-6 所示。

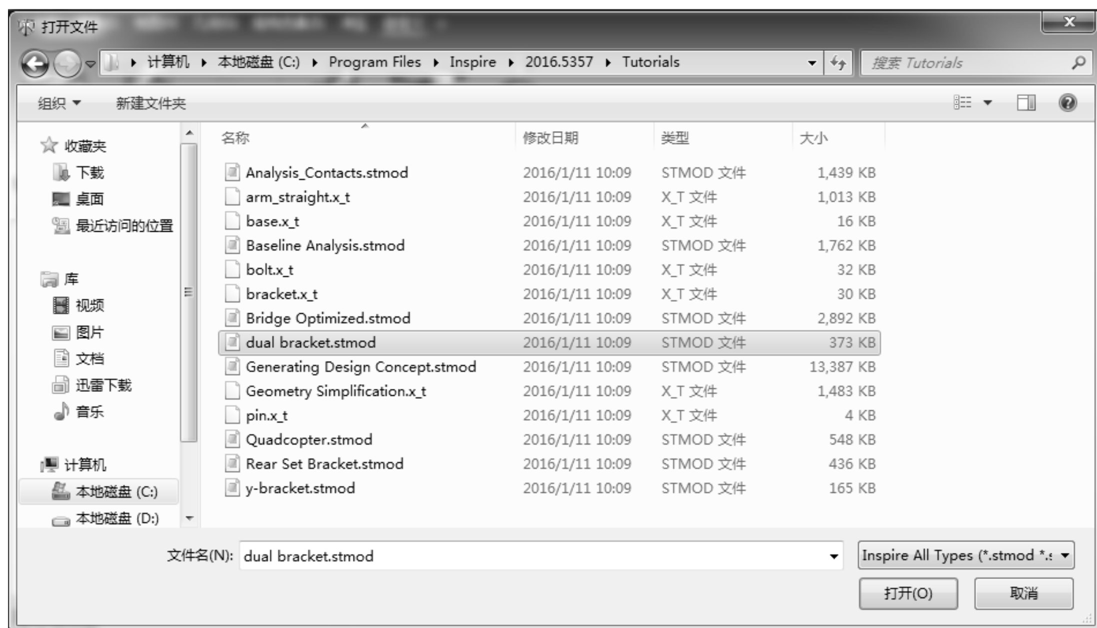


图 2-6

4）单击该文件将其打开。如果该模型不可见，则按〈F2〉键打开模型浏览器，如图 2-7 所示。

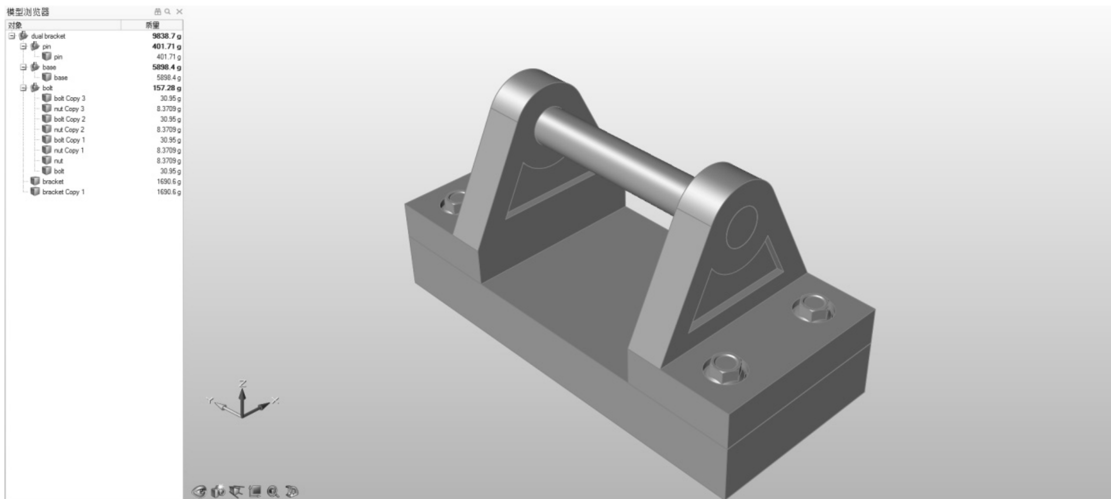


图 2-7

5）单击模型视窗右下角的单位系统选择器，将默认单位系统设置为 SI (m kg N Pa)，如图 2-8 所示。

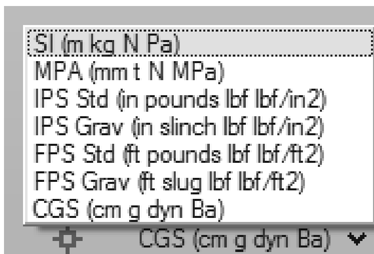


图 2-8

2.3　使用视图控制

1）按住鼠标右键，同时拖动鼠标以旋转模型，这种旋转方法称为转盘旋转。如果模型的竖直方向与 z 轴对齐，则可以使用该方法。

2）按住鼠标中键进行拖曳，这种旋转方法被称为轨迹球旋转，可用于在任意方向上翻转模型。按〈N〉键旋转模型至最近的主轴。

3）使用鼠标滚轮以鼠标光标为中心进行缩放。要以模型视窗为中心进行缩放，同时按住〈Alt〉键和鼠标中键并垂直拖动鼠标。

4）视图控制位于模型视窗的左下角。单击模型视窗左下角的图标，或者按〈F〉键使整个模型适应视图。如果选中的是零件而不是整个模型，单击该图标将以所选零件为中心进行自适应缩放。此时，再次单击该图标将放缩恢复到整个模型。尝试选中不同的零件，再重复按〈F〉键，以观察所得效果，如图 2-9 所示。

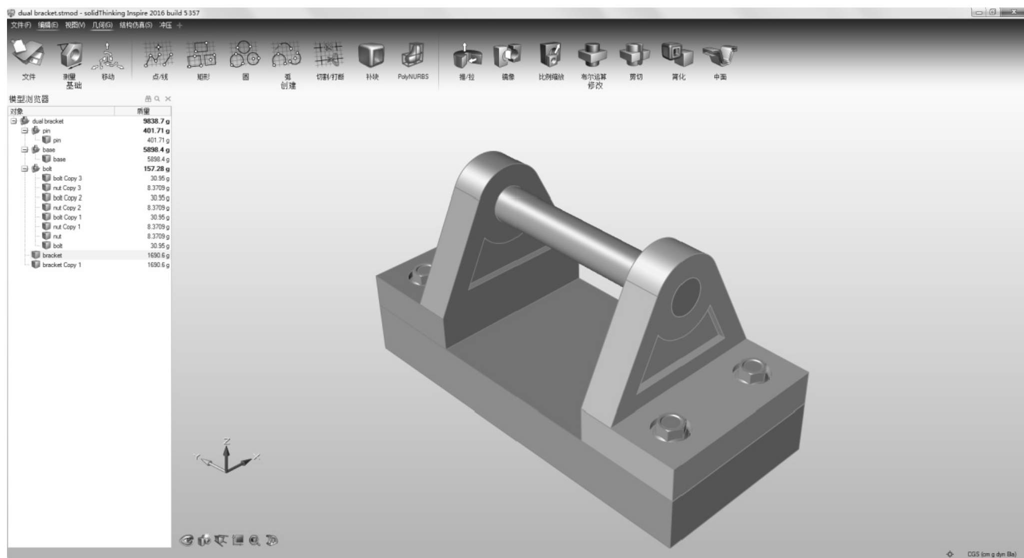


图 2-9

5）按住〈Shift〉键及鼠标右键，同时平移鼠标，即可平行移动模型。按〈C〉键并单击模型上的一个点，即可以该点为中心显示模型。

要通过自定义鼠标控制来模仿另一个应用程序，可以单击“文件”→“偏好设置”命令，打开偏好设置对话框，然后选择鼠标控制并从下拉列表中选择一个应用程序，如图 2-10 所示。

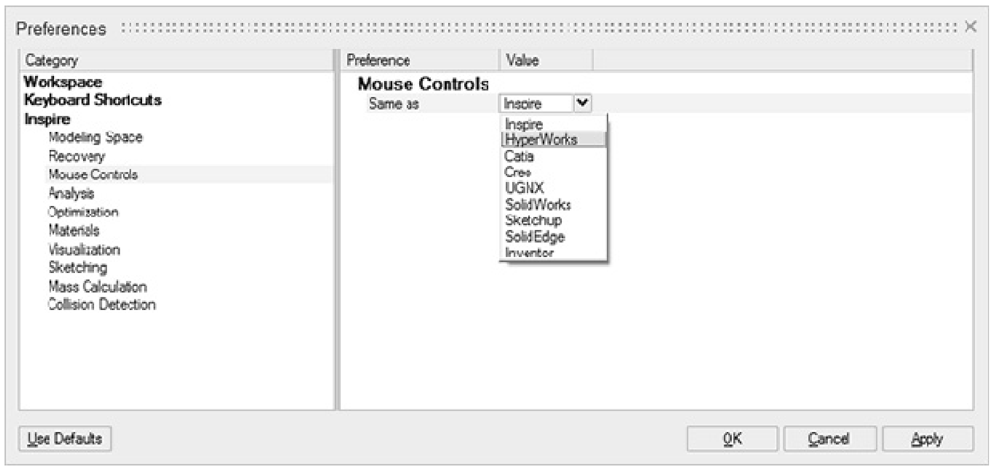


图 2-10

2.4　显示和隐藏零件

可以使用视图控制中的显示/隐藏图标来显示或隐藏零件。

1）单击模型视窗左下角的“显示/隐藏”图标。

2）将光标悬停在一个零件上，当光标变成时，表示已进入显示/隐藏模式。

3）在模型视窗中，单击一个或者多个零件，被选中零件即变为透明，并且在模型浏览器中变为灰色，如图 2-11 所示。

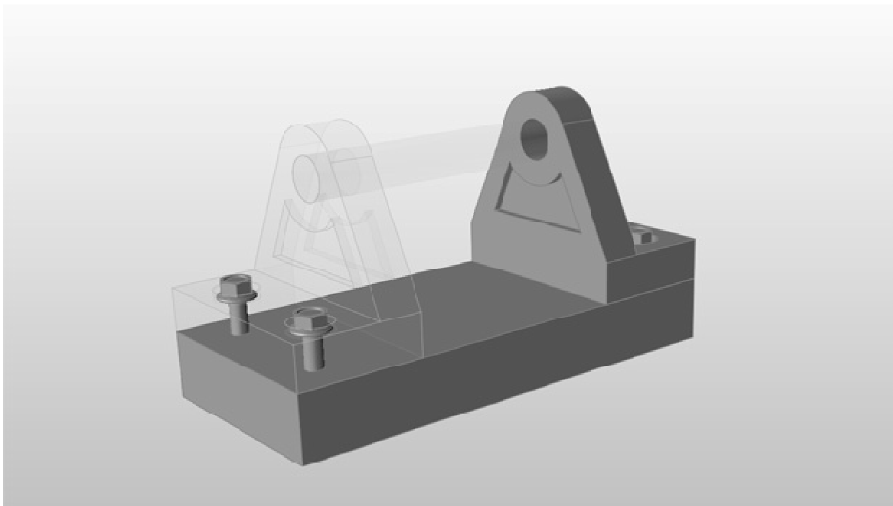


图 2-11

4）用鼠标右键单击退出显示/隐藏模式，被选中对象将隐藏于模型视窗中，如图 2-12 所示。

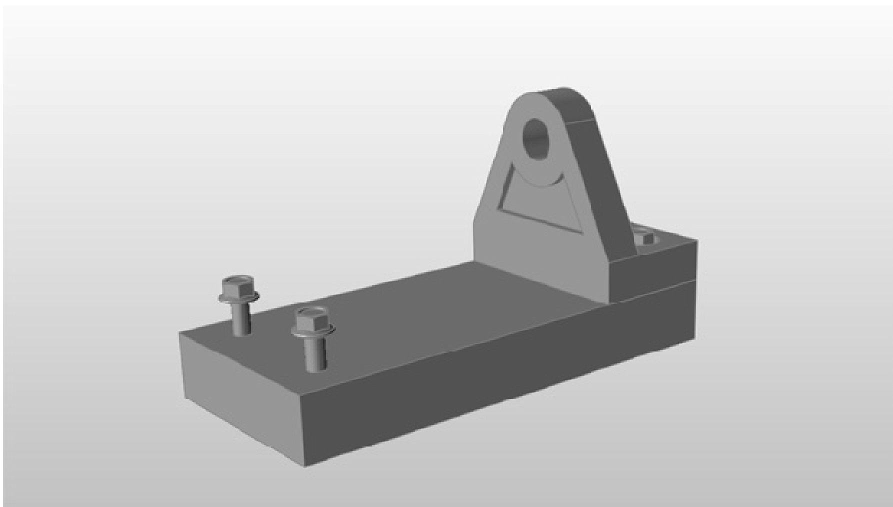


图 2-12

5）要显示已隐藏的零件，可以再次选择“显示/隐藏”图标进入显示/隐藏模式。

6）按住〈Shift〉键，同时单击一个透明零件，如图 2-13 所示。注意：按住〈Shift〉键后，光标即变为。

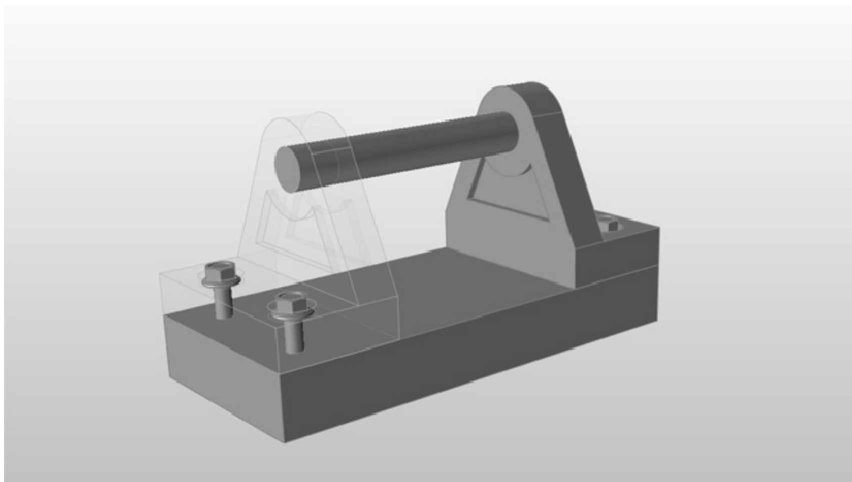


图 2-13

7）单击剩余的透明零件，然后单击鼠标右键退出显示/隐藏模式，如图 2-14 所示。

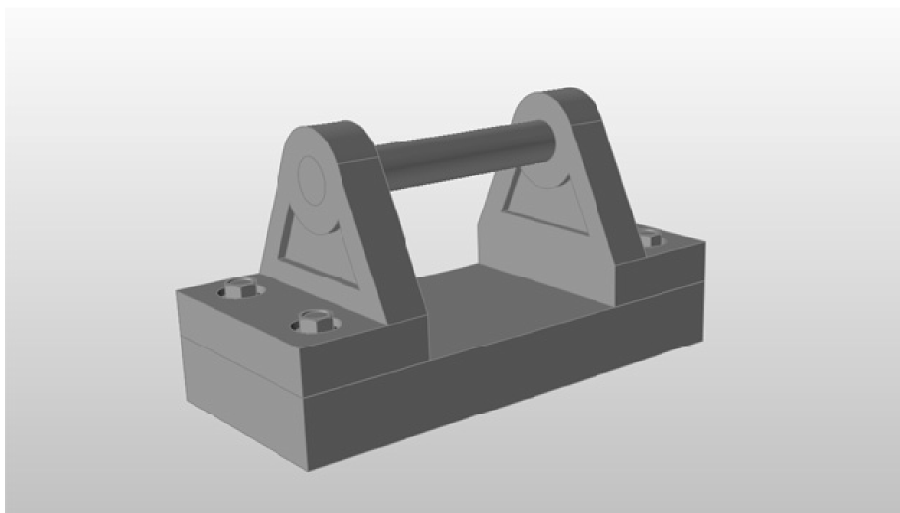


图 2-14

8）使用快捷键也可显示、隐藏或单独显示零件。

- 按〈A〉键显示所有零件。
- 按〈H〉键隐藏选中的零件。
- 按〈I〉键单独显示选中的零件。
- 按〈R〉键反转选择（隐藏所有选中的零件，同时显示所有隐藏的零件）。

2.5 施加力和拔模方向

1）选择托架中的某一个部分，按〈I〉键使其单独显示，如图 2-15 所示。

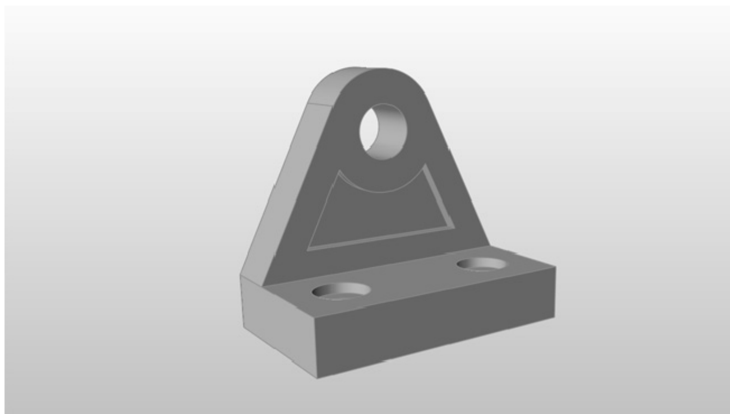


图 2-15

2）在功能区上单击“结构仿真”。

3）单击载荷图标中的施加力工具。

4）将鼠标光标移动到该托架的正前方，单击鼠标左键施加一个分布力，如图 2-16 所示。

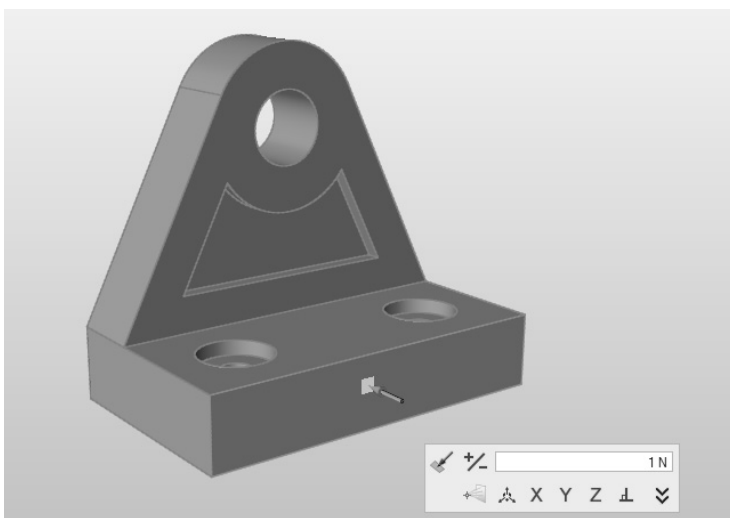


图 2-16

5）完成力的创建或编辑后，会弹出一个文本框，在文本框中输入 45N，然后单击 +/- 按钮改变力的方向，如图 2-17 所示。

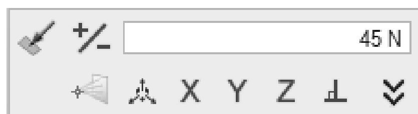


图 2-17

6）单击形状控制图标中的拔模方向工具，对该托架施加一个拔模方向约束。

7）单击二级功能区中的单向拔模工具。

8）单击该托架，在托架上出现一个蓝色平面，四角上有箭头指向托架前方，表明该方向为拔模方向（模具脱离零件的方向），如图 2-18 所示。

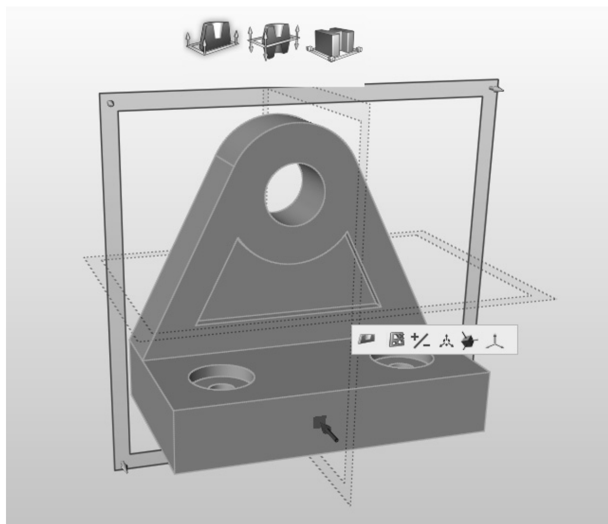


图 2-18

9）用鼠标右键单击空白处或按〈Esc〉键退出工具。

2.6　编辑力和拔模方向

创建某些对象后，即可快速创建更多同类型对象。在模型视窗中双击已创建的对象，可以对其进行编辑。

1）双击蓝色平面编辑拔模方向，视窗中会出现一个小对话框，如图 2-19 所示。

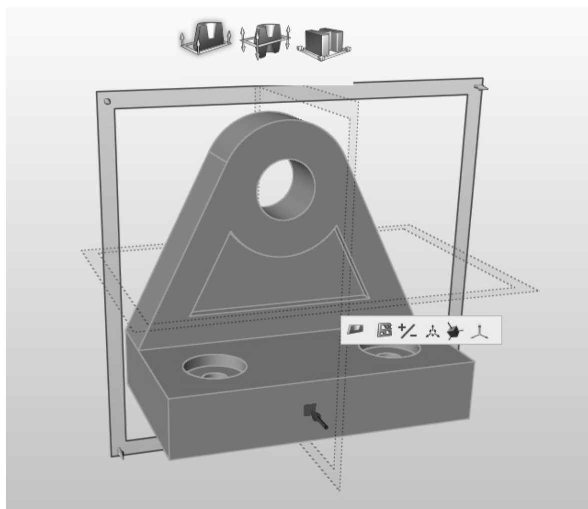


图 2-19

2）单击其中的一个灰色平面将其激活，改变其原始的拔模方向，如图 2-20 所示。

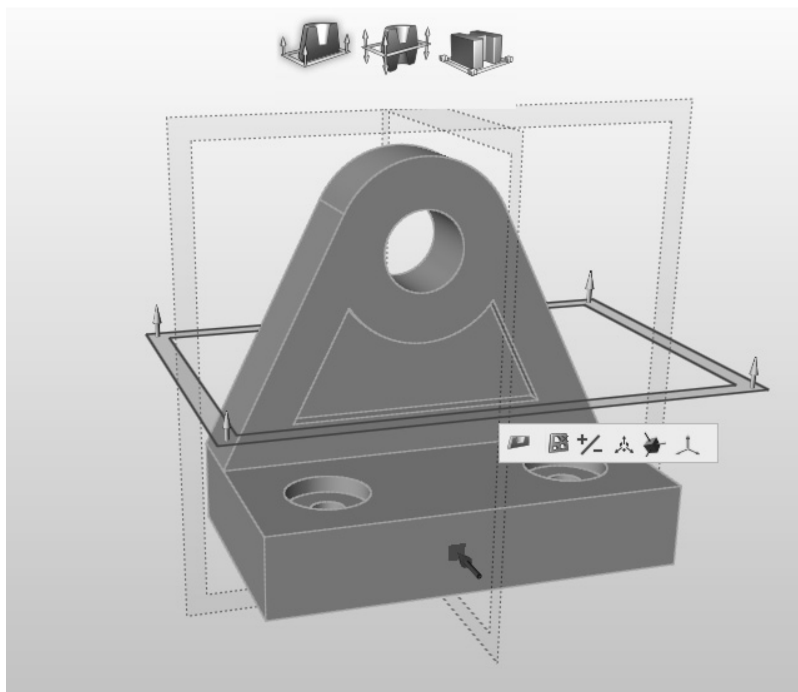


图 2-20

3）用鼠标右键单击空白处或按〈Esc〉键退出工具，如图 2-21 所示。

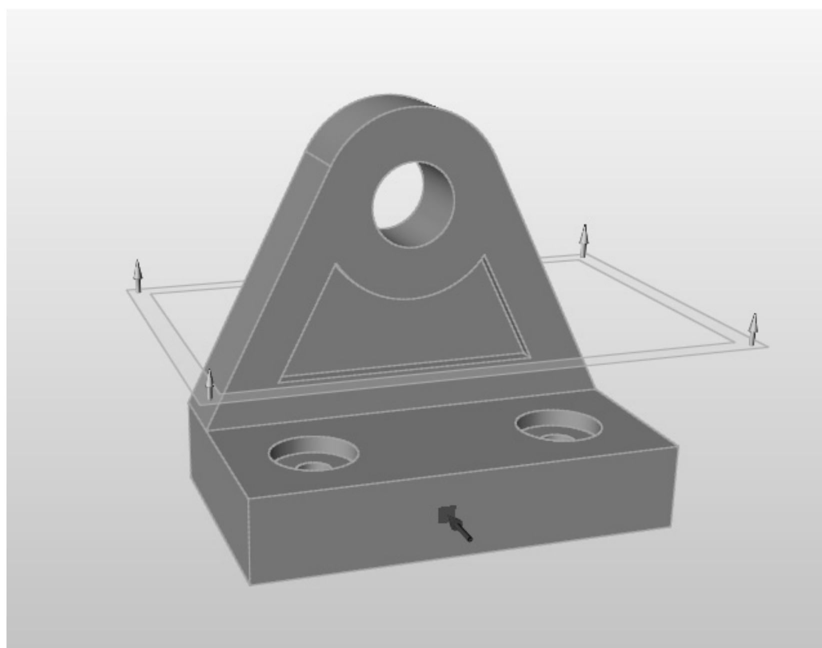


图 2-21

4）双击托架前面的红色力箭头，视窗中会出现一个文本框，如图 2-22 所示。

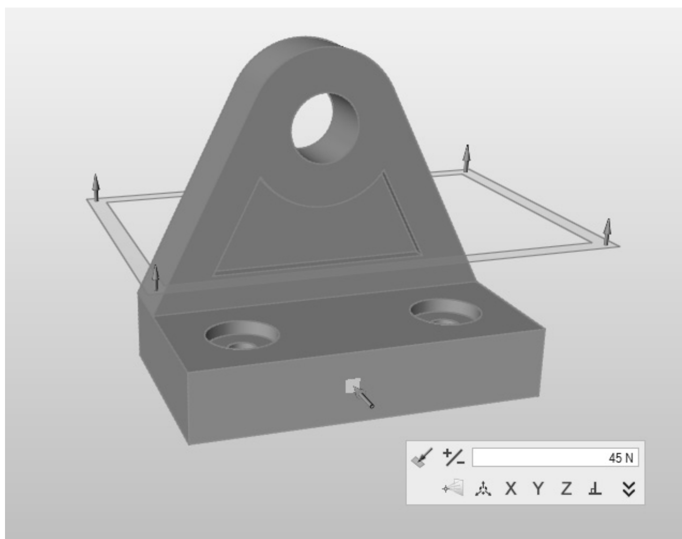


图 2-22

5）在文本框中输入力的大小，即可编辑该力，或者单击 +/−、X、Y、Z 和 ⊥ 按钮改变其方向。此外，还可以继续选择其他的面以创建更多的力，如图 2-23 所示。

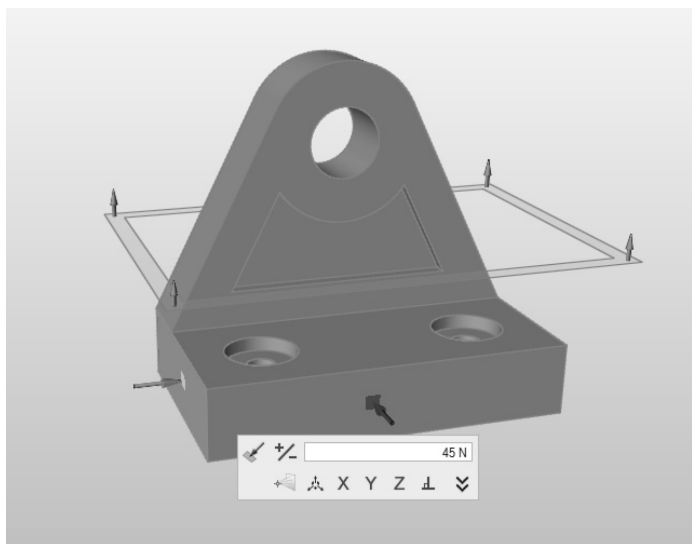


图 2-23

6）用鼠标右键单击空白处或按〈Esc〉键退出工具。

第 3 章



移动和捕捉

本章将介绍 Inspire 中零件移动、捕捉和重新布局的方法。

本章要点如下：

- **打开和导入模型**。
- **移动零件**。
- **捕捉到点**。
- **复制和粘贴**。
- **移动和旋转**。
- **组织一个模型**。

3.1 导入模型

1）打开 Inspire。

2）单击文件图标中的打开模型。

3）在打开文件对话框中，选择 Tutorials 文件夹，如图 3-1 所示。

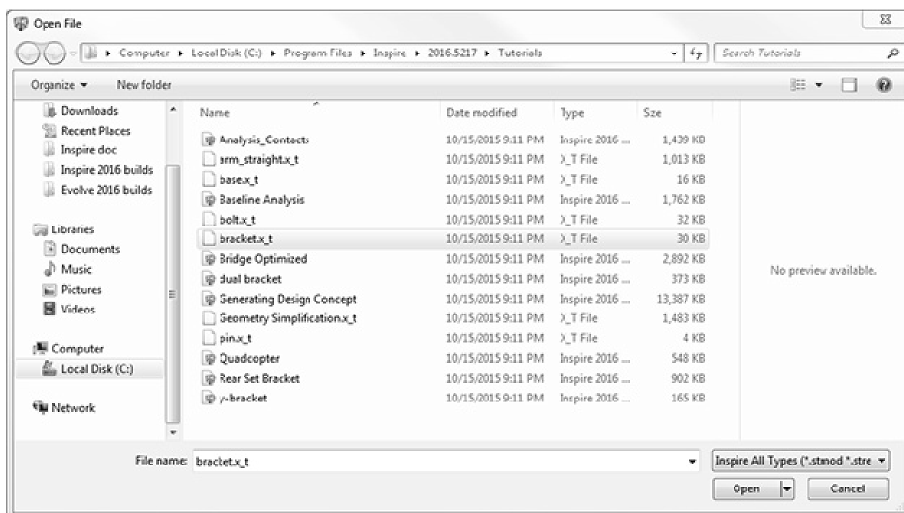


图 3-1

4）选择文件 bracket.x_t 并打开，如图 3-2 所示。

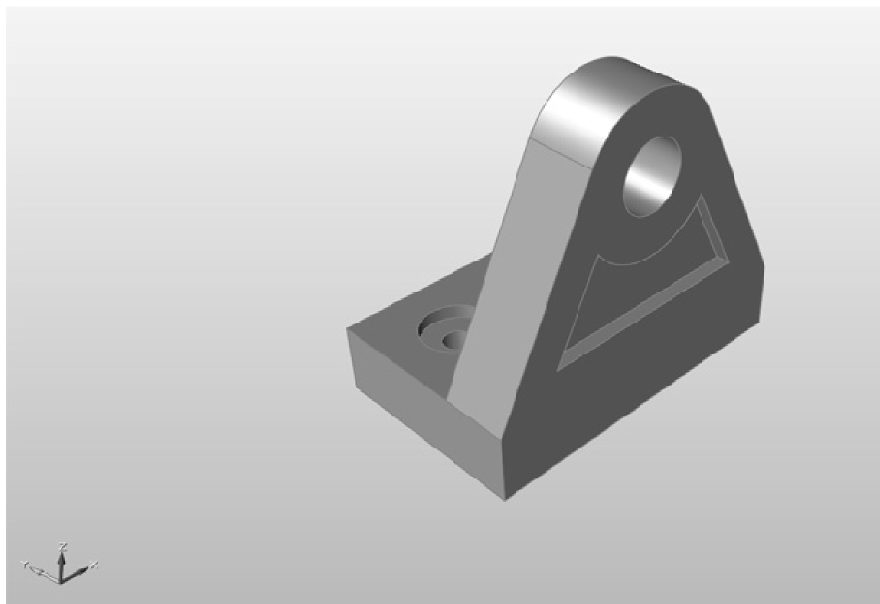


图 3-2

5）调整视图，托架角度如图 3-3 所示。鼠标右键用于旋转对象，按〈Shift 键的同时按住鼠标右键可平移对象，鼠标滚轮用于缩放。

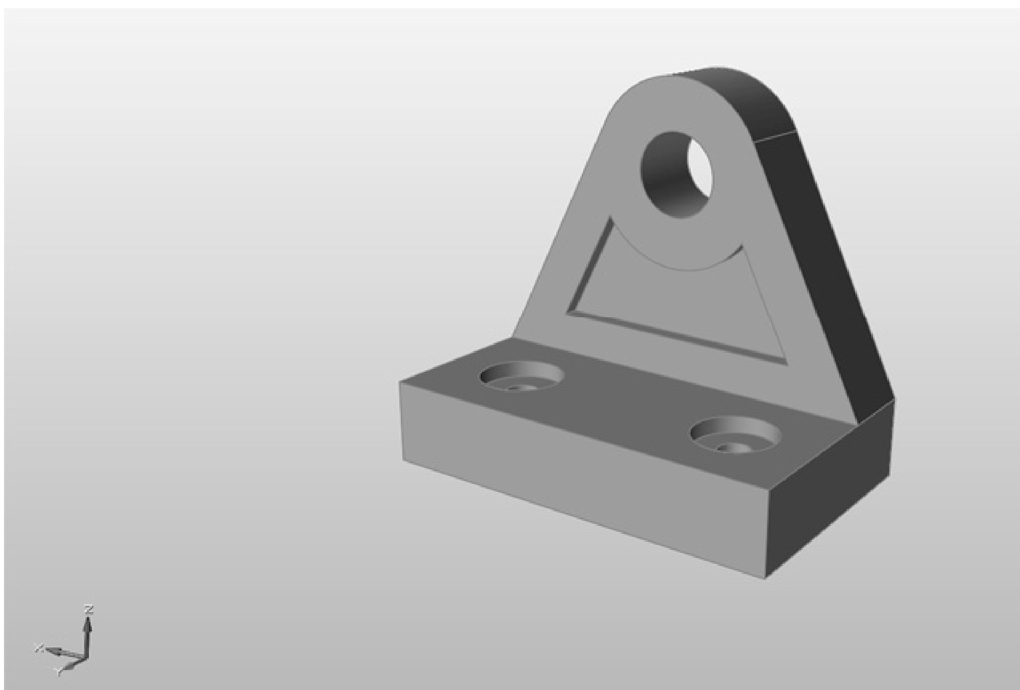


图 3-3

6）保持 bracket.x_t 模型在模型视窗中可见，打开 Windows 资源管理器再次浏览到 Tutorials 目录，如图 3-4 所示。

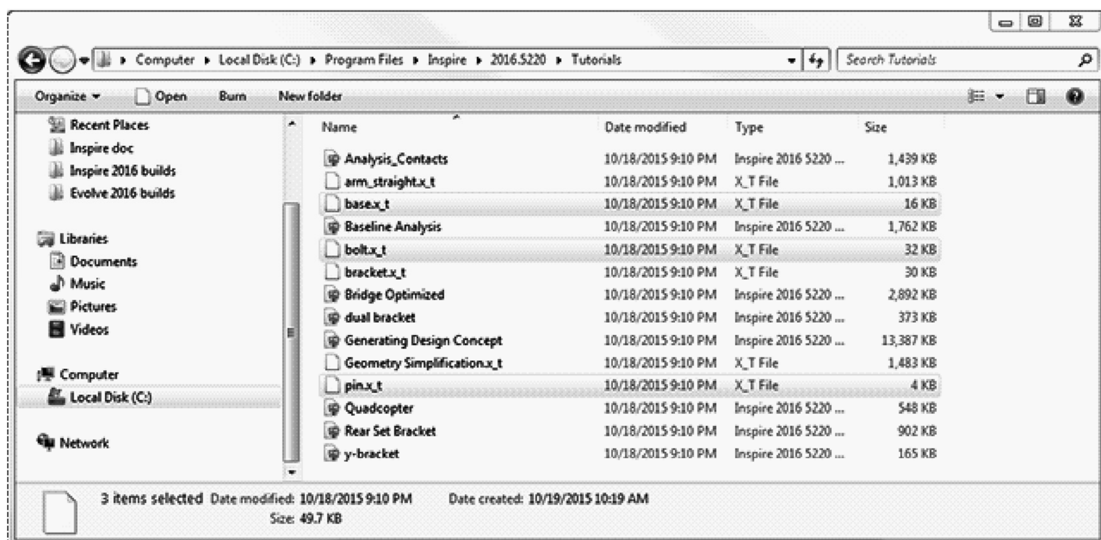


图 3-4

7）选择文件 base.x_t、bolt.x_t 和 pin.x_t，并将这 3 个文件拖动到 Inspire 模型视窗中，文件即被导入当前模型，如图 3-5 所示。

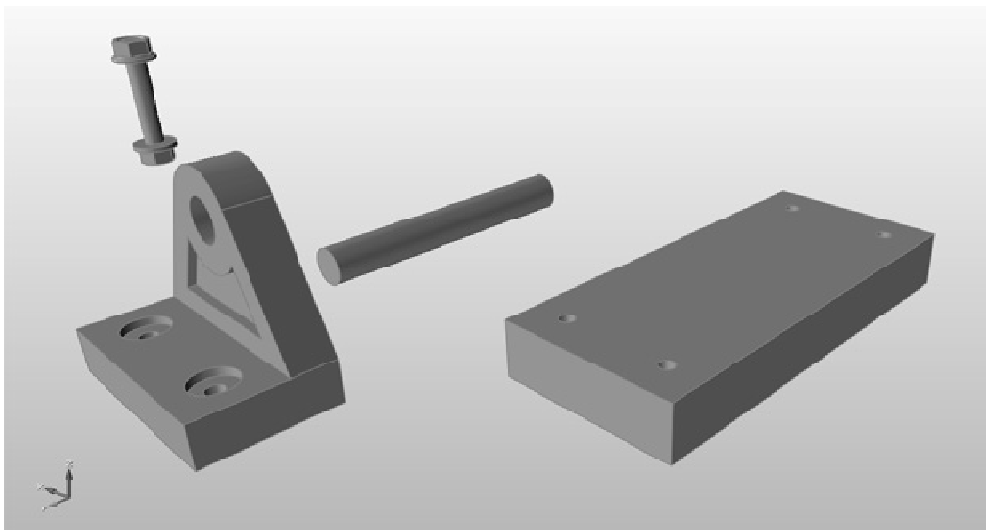


图 3-5

3.2 利用捕捉到点工具对齐托架

1）在模型视窗中单击托架将其选中，如图 3-6 所示。

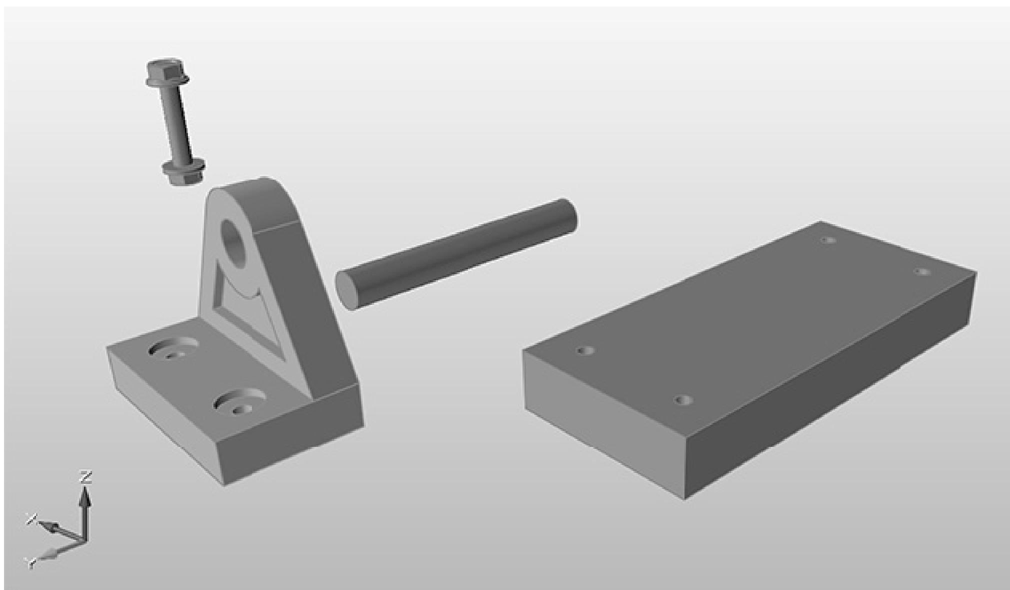


图 3-6

2）按〈M〉键打开移动工具，或单击功能区上的移动工具，如图 3-7 所示。

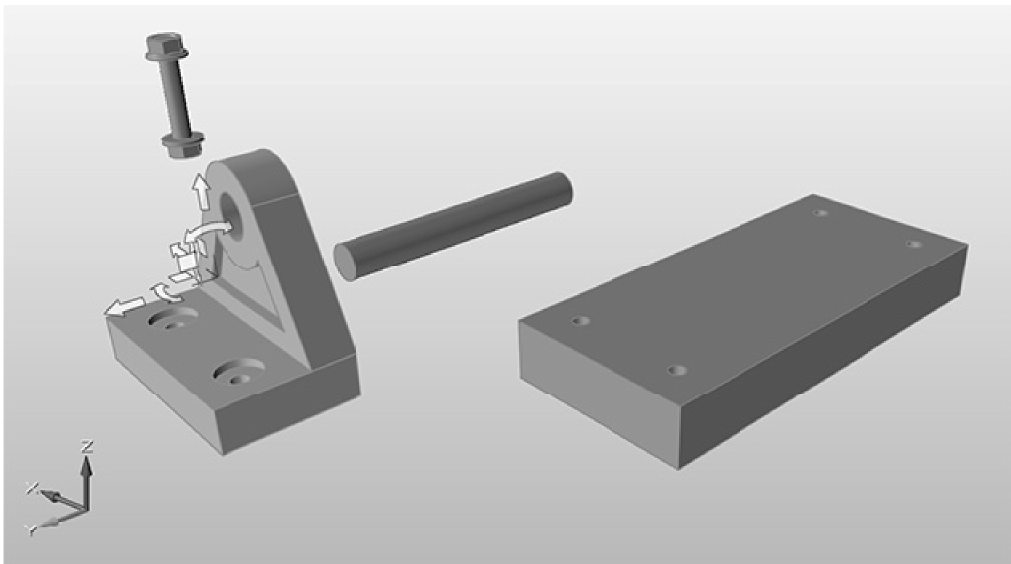


图 3-7

3）将鼠标移动到选定的零件上，当鼠标光标靠近端点、中心点、中点和圆的四分点时会出现捕捉提示。捕捉点可用于精确定位零件。

4）将鼠标悬停在托架底部的前角上，此时出现末端捕捉点，如图 3-8 所示。

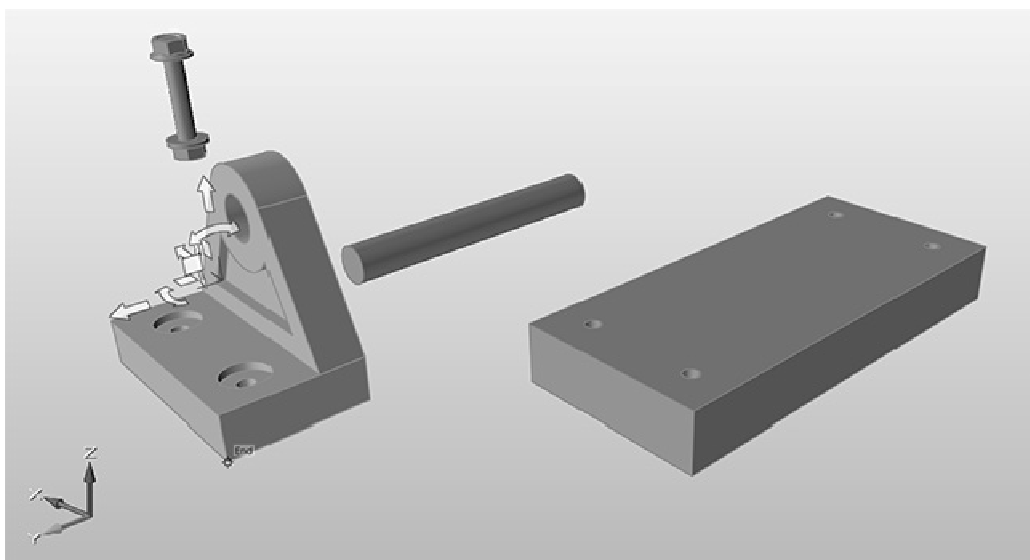


图 3-8

5）单击并拖动该末端捕捉点，从而将托架移动到底座零件上方，随着鼠标光标靠近底座前角，另一个末端捕捉点将会出现在该角上。在该捕捉点上释放鼠标，即可将托架精确地放置在这个角点上，如图 3-9 所示。

6）右击退出移动工具。

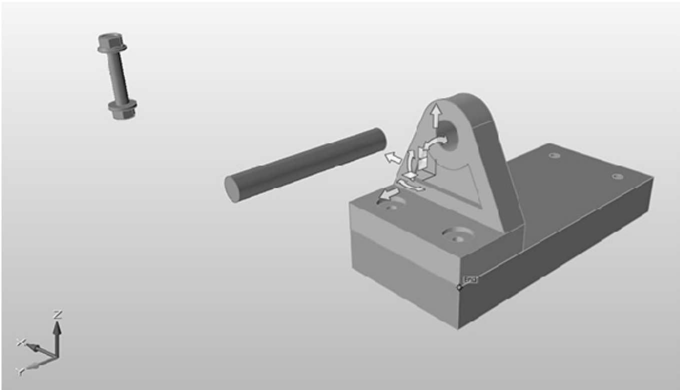


图 3-9

3.3 对齐铰链

1）单击功能区上的菜单“文件”。

2）单击“偏好设置”按钮，打开偏好设置对话框，如图 3-10 所示。



图 3-10

3）在类别下，选择 Modeling Space，如图 3-11 所示。

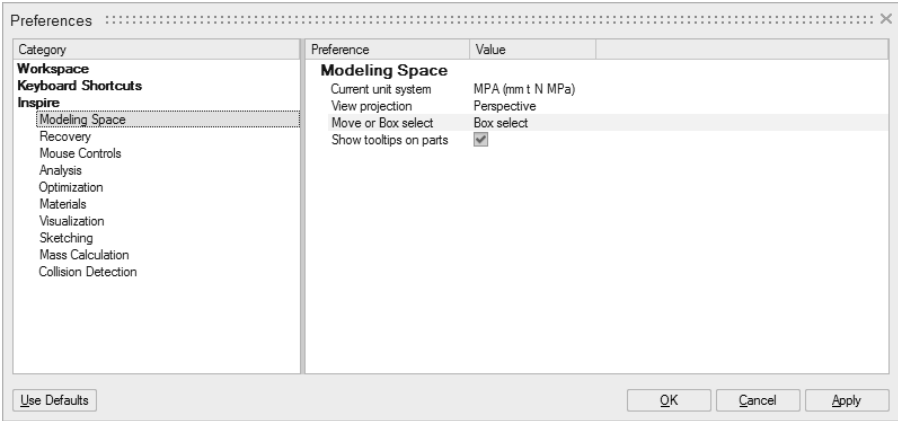


图 3-11

4）在 Move or Box Select 下拉列表中选择 Move，该选项用于定义单击和拖曳是用来移动对象还是用来框选多个对象，如图 3-12 所示。

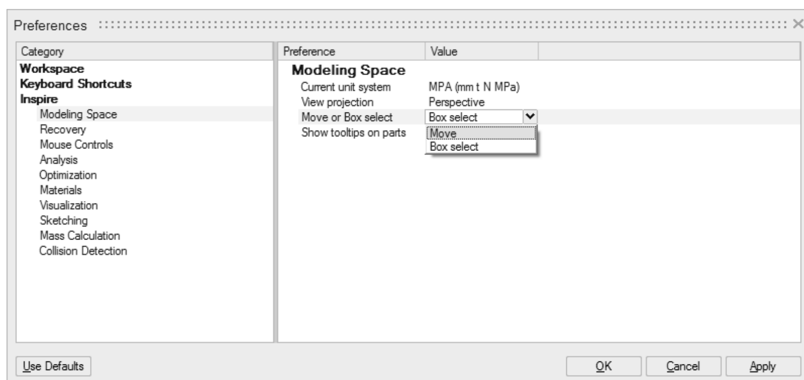


图 3-12

5）单击 OK 按钮，关闭偏好设置对话框。

6）在模型视窗中选定铰，如图 3-13 所示。

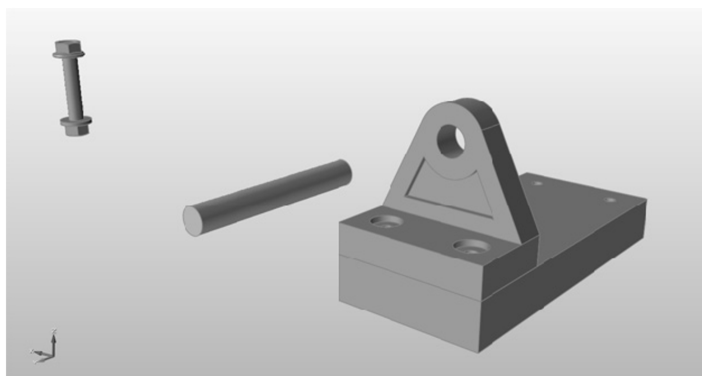


图 3-13

7）单击铰的中心点并拖动铰，然后将其与托架顶部孔的中心对齐，如图 3-14 所示。

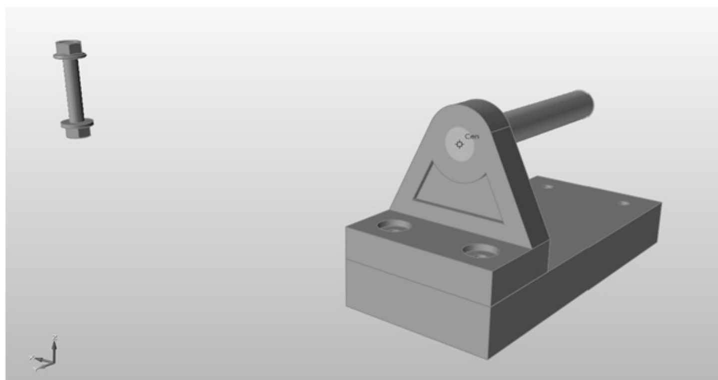


图 3-14

3.4 复制并对齐螺母及螺栓

1）利用框选工具选中螺母及螺栓，如图 3−15 所示。

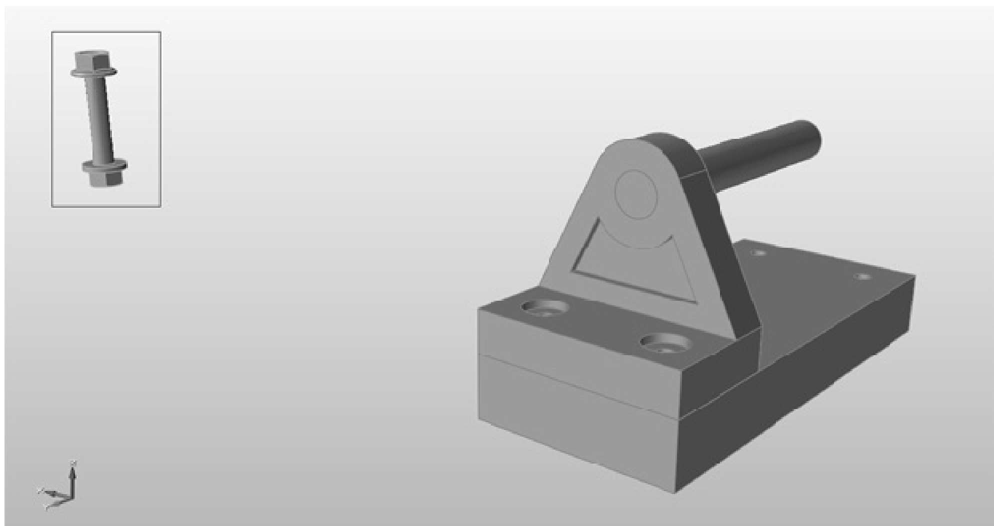


图 3−15

2）按住〈Ctrl〉键，同时将鼠标移动至螺栓上方，被选中的零件显示为透明，如图 3−16 所示。

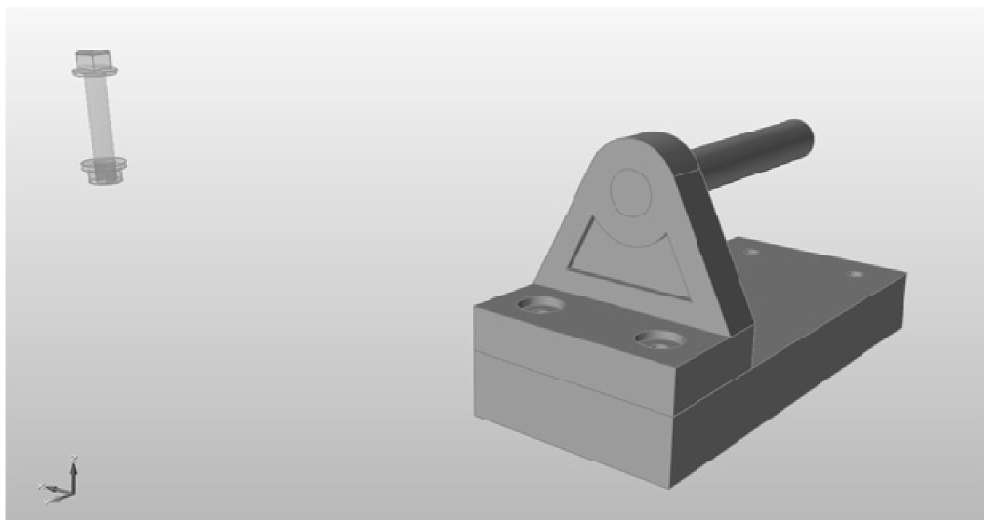


图 3−16

3）继续按住〈Ctrl〉键，用鼠标左键单击并拖动，即可创建出所选对象的副本，如图 3−17 所示。

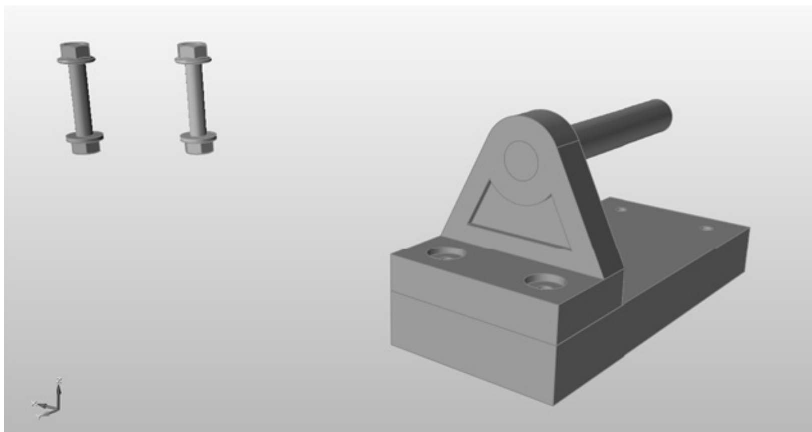


图 3-17

4）保持螺栓和螺母的选中状态，将中心捕捉点放置在螺栓头上，如图 3-18 所示。

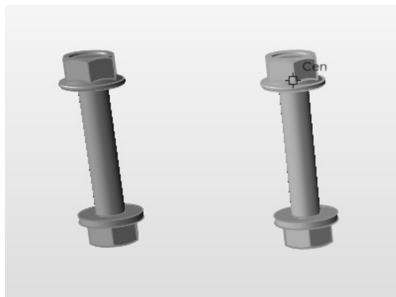


图 3-18

5）单击该中心捕捉点并拖动螺栓，然后将其放置在托架上的一个孔中，如图 3-19 所示。由于需要调整视图以及重新确定零件在屏幕中的位置，因此该过程中需要执行多次拖放操作。

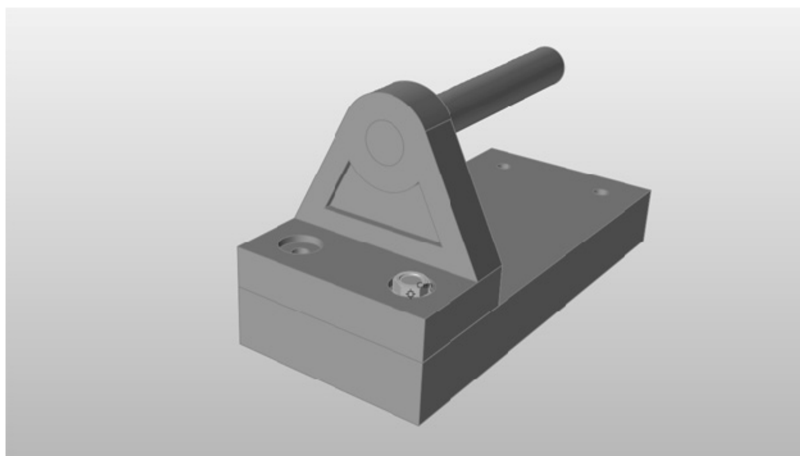


图 3-19

6）按照上面的方法，框选另外一组螺母和螺栓，然后以其中心点为基准选中并拖动该螺栓，直到将其捕捉到托架上的另外一个孔中，如图 3-20 所示。

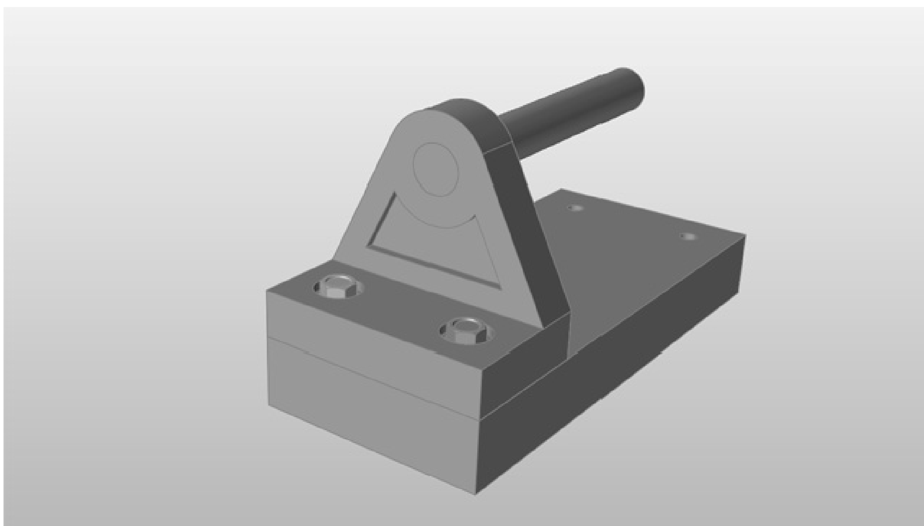


图 3-20

3.5 复制、平移和旋转托架

1）重新放置的模型如图 3-21 所示。

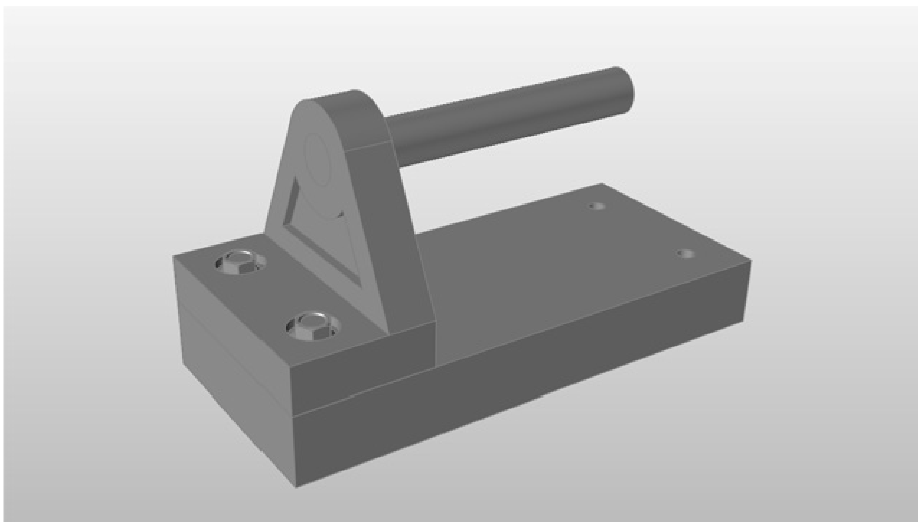


图 3-21

2）如图 3-22 所示，从右至左框选螺母、螺栓以及托架（从右至左进行框选只会选中完全位于选择框内部的对象，而从左至右进行框选则会选中所有触碰到选择框的对象）。

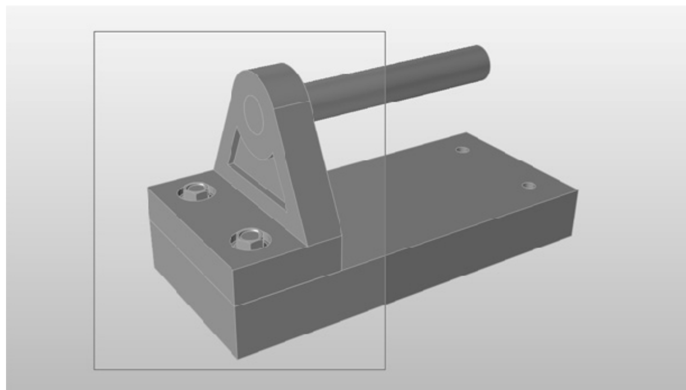


图 3-22

3）选中的对象显示为黄色。按〈Ctrl+C〉及〈Ctrl+V〉键进行复制、粘贴零件。新复制出的对象与源对象重合在一起，如图 3-23 所示。

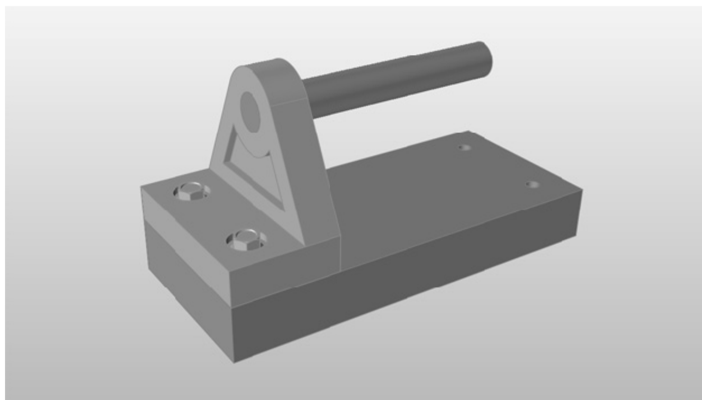


图 3-23

4）按〈M〉键打开移动工具，如图 3-24 所示。

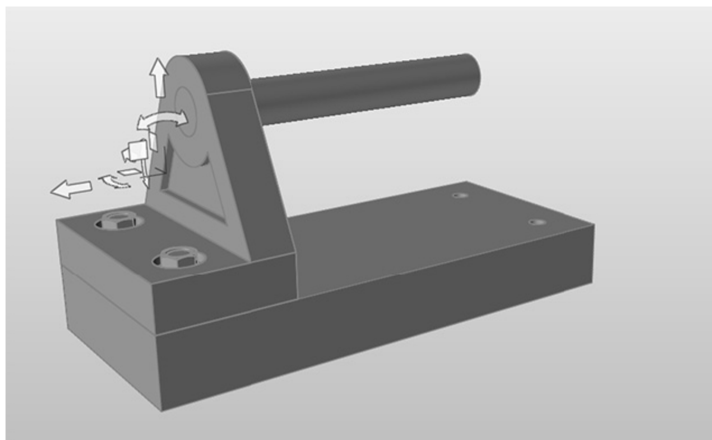


图 3-24

5）单击并拖动移动工具的 y 轴，将原始托架的副本移向基座背面，如图 3-25 所示。

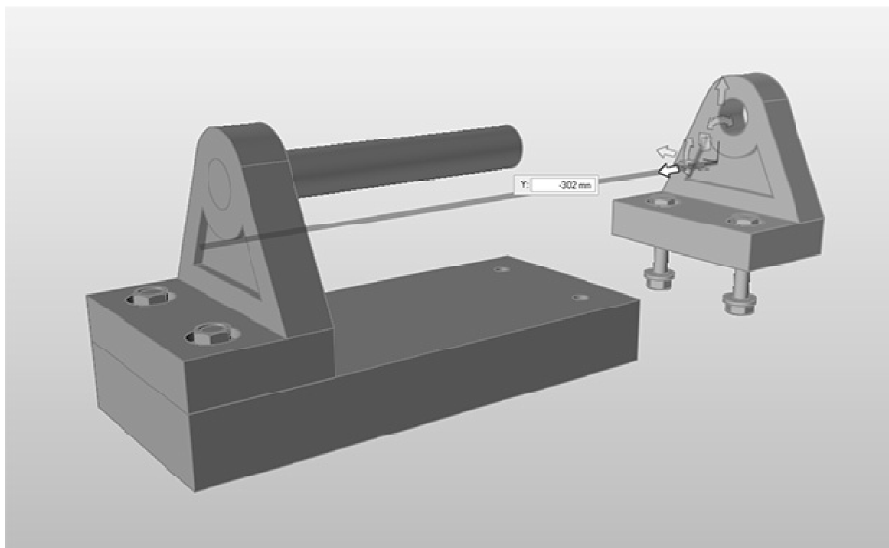


图 3-25

6）单击移动工具的中心，以启用 3D 移动。在单击该工具的中心位置并将其移动到托架角的过程中，按住〈Shift〉键。按住〈Shift〉键移动工具只会移动工具本身而非零件。该操作可用于重新定位工具，如图 3-26 所示。

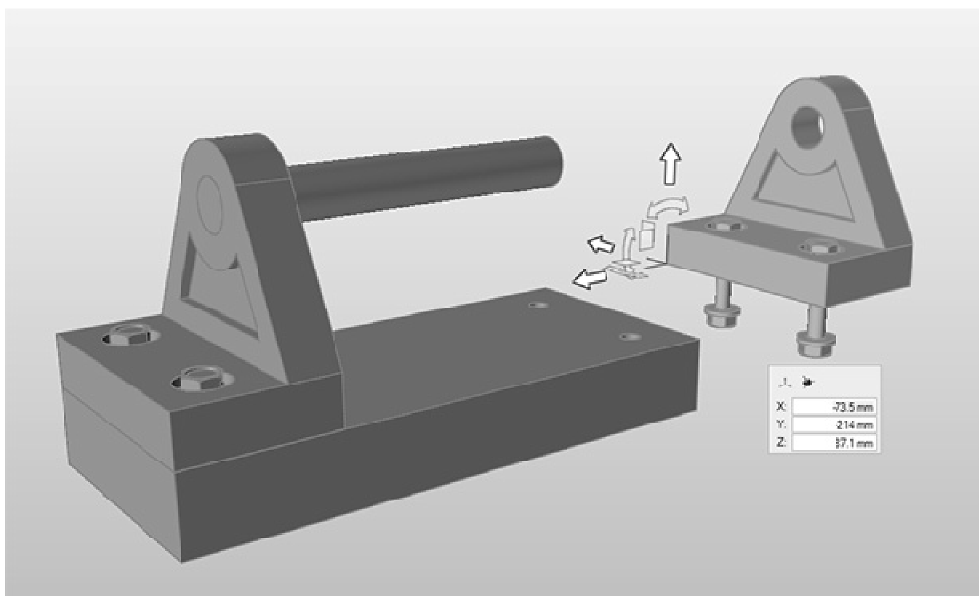


图 3-26

7）松开 Shift 键，单击该工具的中心位置，并沿托架方向将其拖向底座零件上的角，如图 3-27 所示。

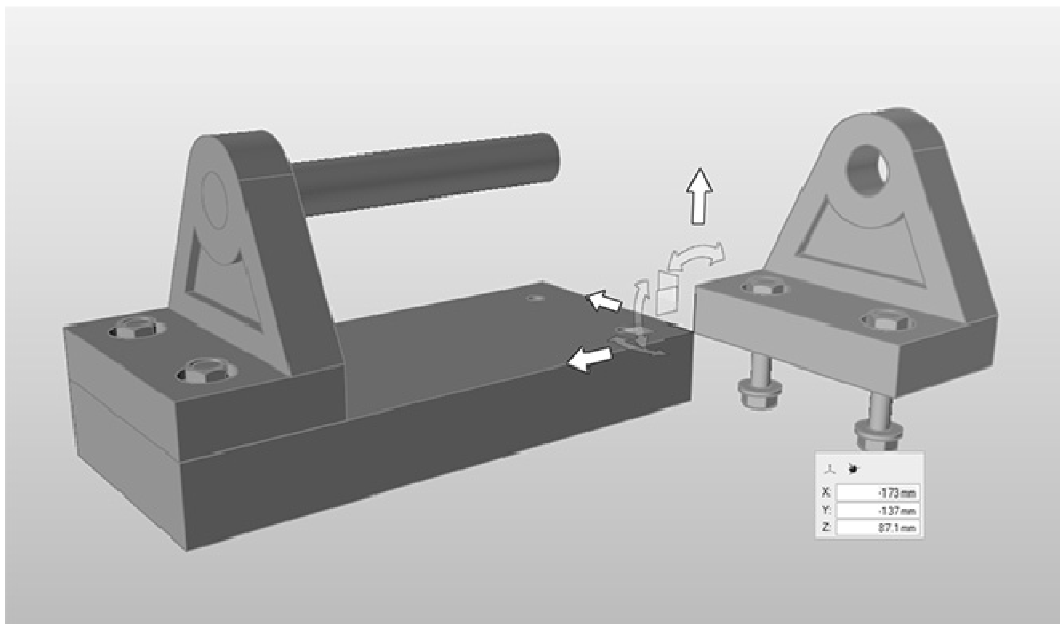


图 3-27

8）单击并选中工具的 Z 旋转器，如图 3-28 所示。

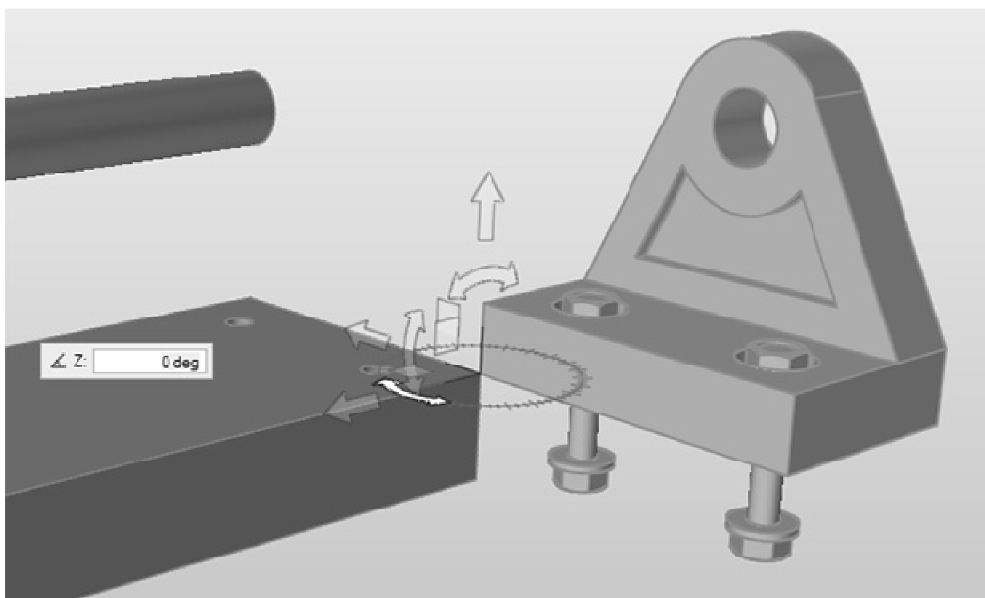


图 3-28

9）在文本框中输入“180”，然后按〈Enter〉键确认，该零件将会旋转 180°，如图 3-29 所示。

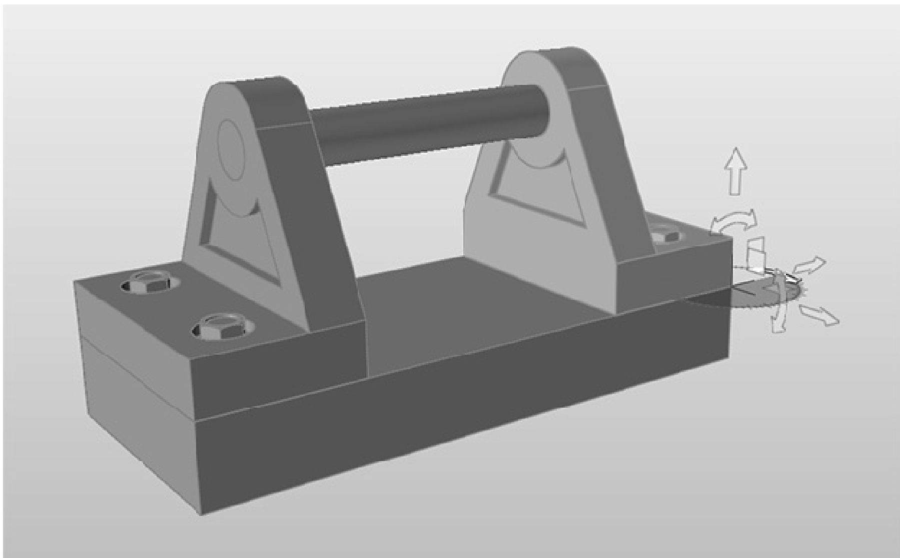


图 3-29

10）右击退出移动工具。单击以取消选中复制的托架。

3.6 组织模型

1）如果模型浏览器不可见，则可以按〈F2〉键或单击“视图”→“模型浏览器”命令来打开模型浏览器，如图 3-30 所示。



图 3-30

2）用鼠标右键在模型浏览器中单击模型的名称，在弹出的快捷菜单中选择“新装配”命令，以创建两个新装配，如图 3-31 所示。

3）用鼠标左键双击装配 1，以对其进行重命名。将该装配重命名为 left bracket，同时将装配 2 重命名为 right bracket，如图 3-32 所示。



图 3-31

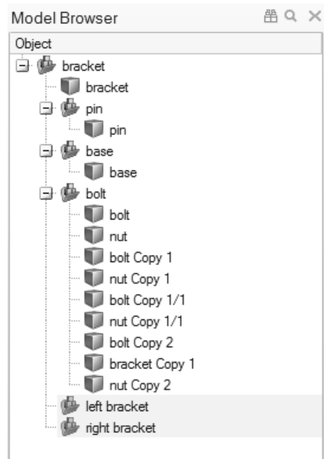


图 3-32

4）在模型视窗中，单击底座零件将其选中，然后按〈H〉键将其隐藏，如图 3-33 所示。

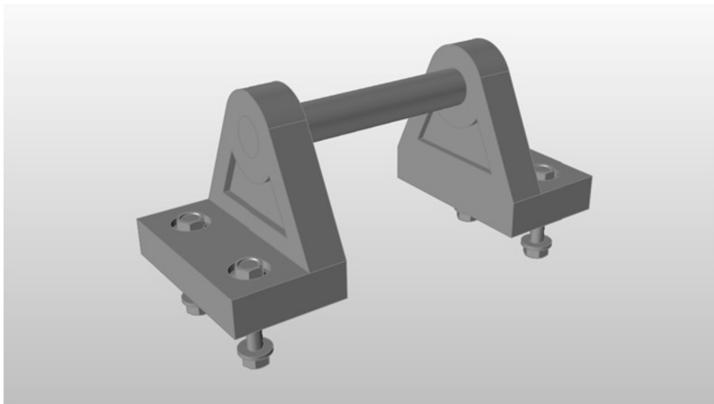


图 3-33

5）用同样的方法隐藏铰接，如图 3-34 所示。

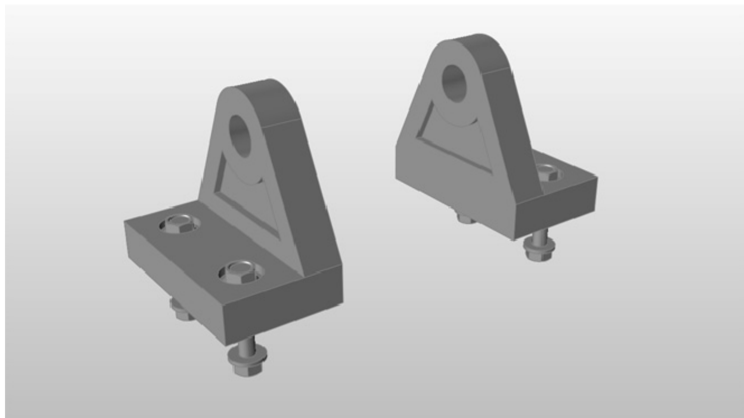


图 3-34

6）框选模型视窗中的左侧托架、螺母和螺栓，这些对象在模型浏览器中也会被选中，如图 3-35 所示。

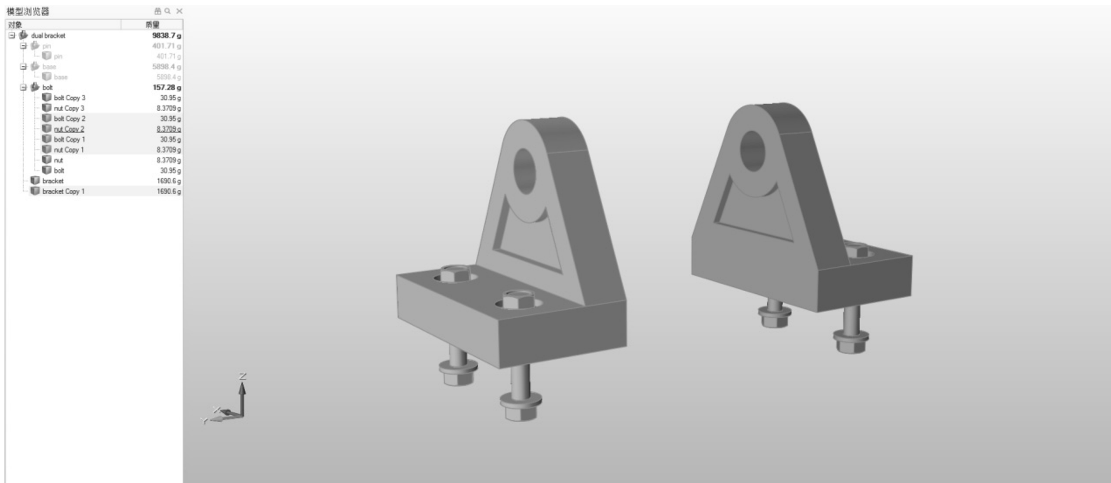


图 3-35

7）在模型浏览器中，拖动一个选中的零件并将其放置到左侧托架装配顶部，所有选中的对象都会移动到该新装配中，如图 3-36 所示。

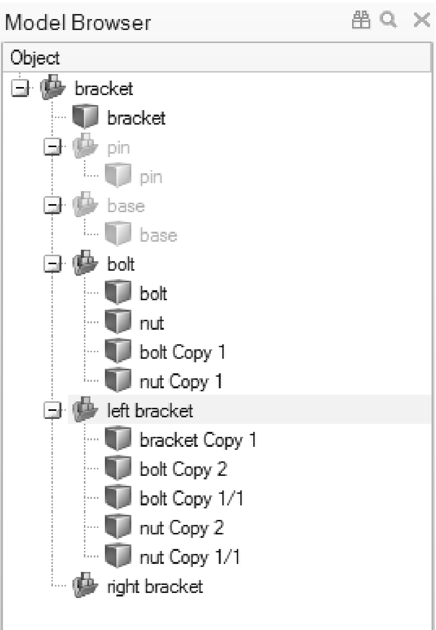


图 3-36

8）对右侧托架、螺母和螺栓重复同样的操作，首先在模型视窗中将这些零件选中，然后在模型浏览器中将其拖动并放置到右侧托架装配中，如图 3-37 所示。

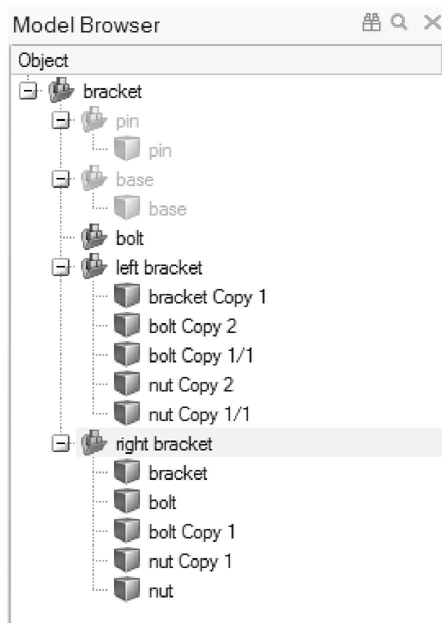


图 3-37

9）按〈A〉键显示所有零件，此时操作结束，如图 3-38 所示。

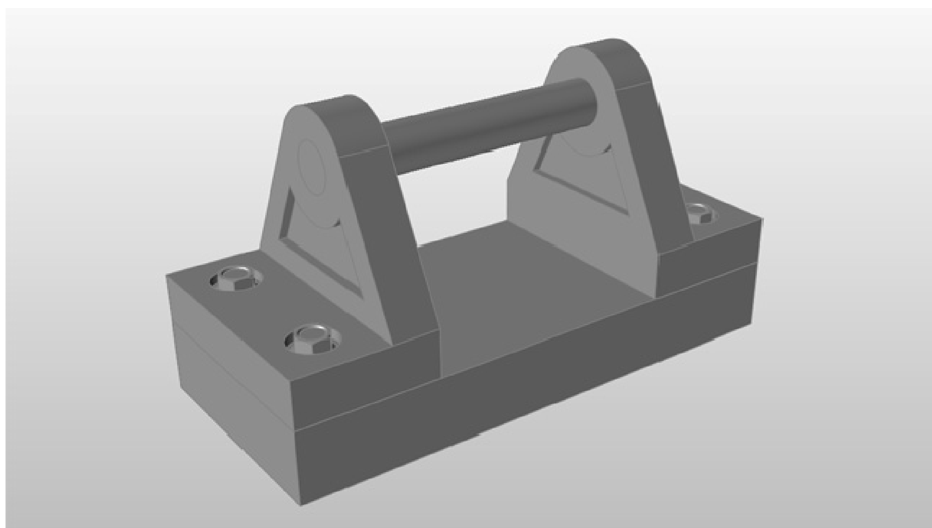


图 3-38

第 4 章

草绘和优化



本章中将详细介绍如何在 Inspire 中绘制零件，并以绘制后的模型进一步练习 Inspire 的优化流程。

本章要点如下：

- **使用草绘工具**。
- **施加固定约束**。
- **施加一个压力**。
- **施加对称**。
- **定义设计空间**。
- **运行优化**。
- **探索优化的形状**。

4.1 草绘一个长方形，并拉伸出一个实体

1）打开 Inspire，单击文件图标中的新建模型图标。

2）单击模型视窗右下角的单位系统选择器，并将默认单位系统更改为 CGS(cm g dyn Ba)，如图 4-1 所示。

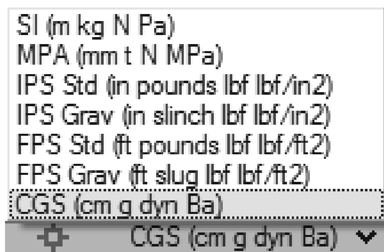


图 4-1

3）选择几何功能区上的以两角点绘制矩形工具。

4）此时出现一个草绘平面，如图 4-2 所示。

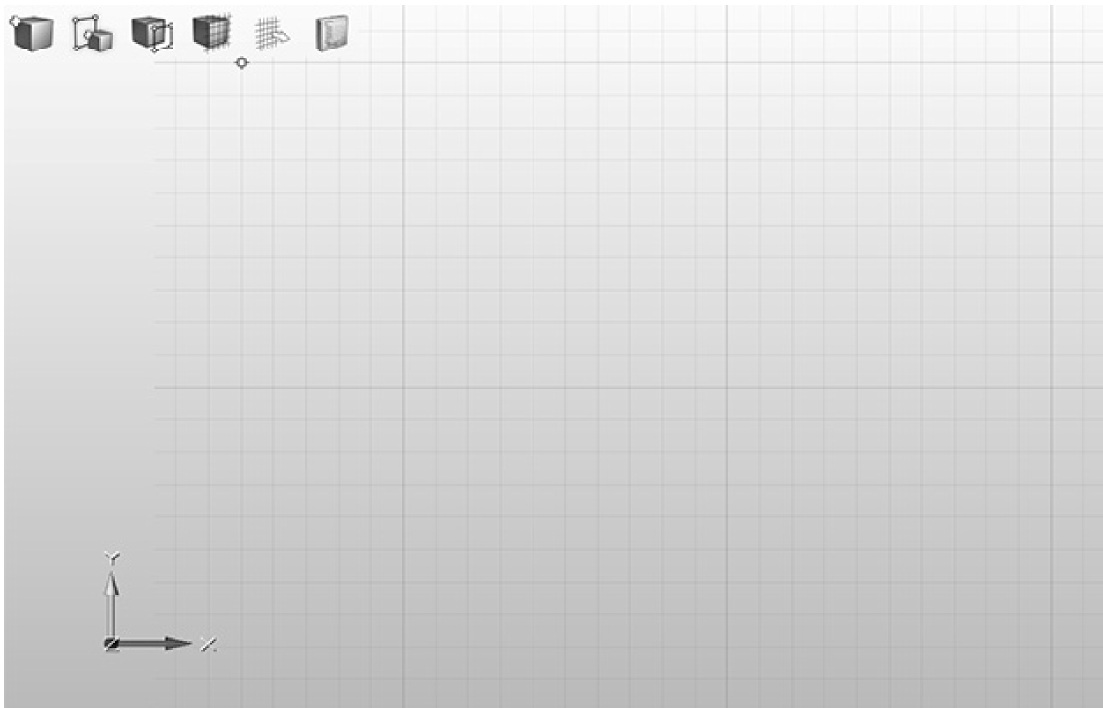


图 4-2

5）使用鼠标滚轮进行缩小，如图 4-3 所示。

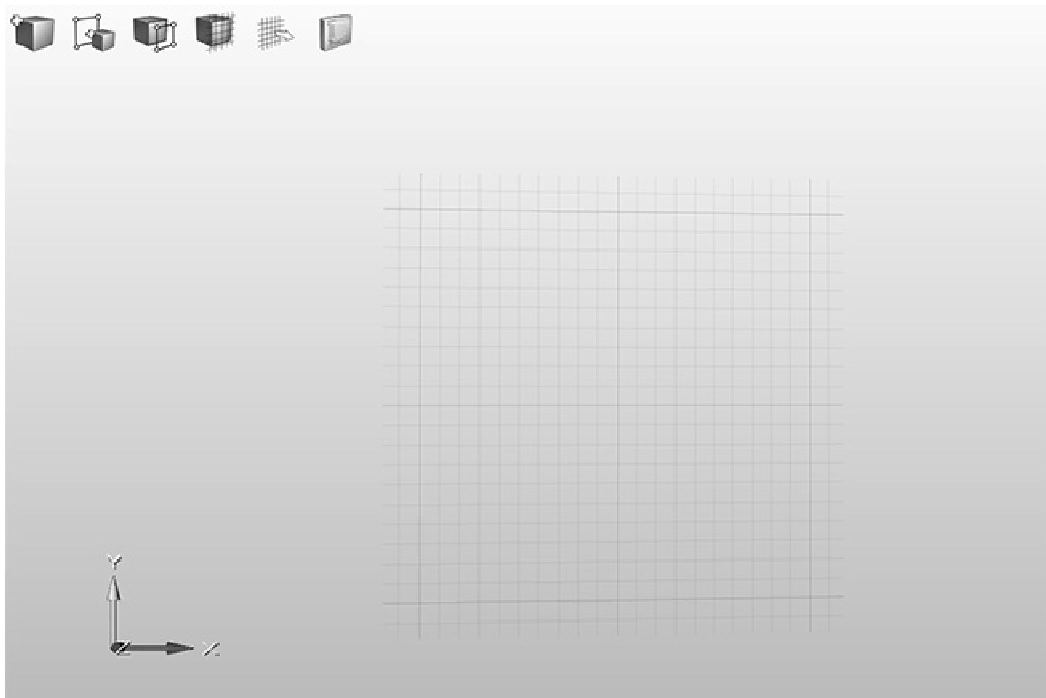


图 4-3

6）单击鼠标左键放置第一个角，然后再次单击放置对角，以此来绘制矩形。此时获得长方形的尺寸为 30cm×10cm，如图 4-4 所示。

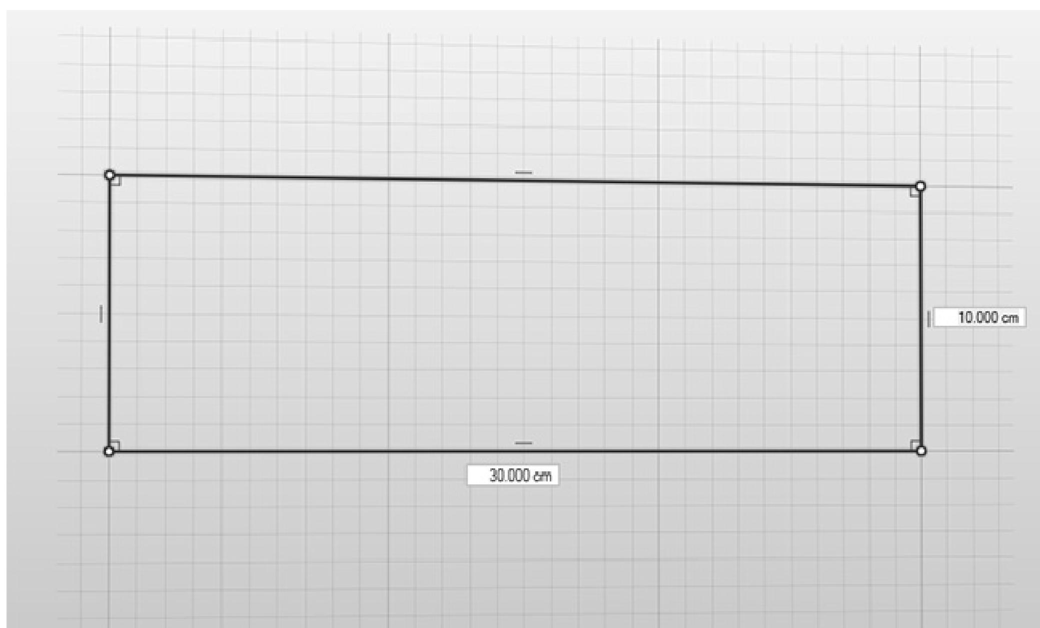


图 4-4

7）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出工具，如图 4-5 所示。

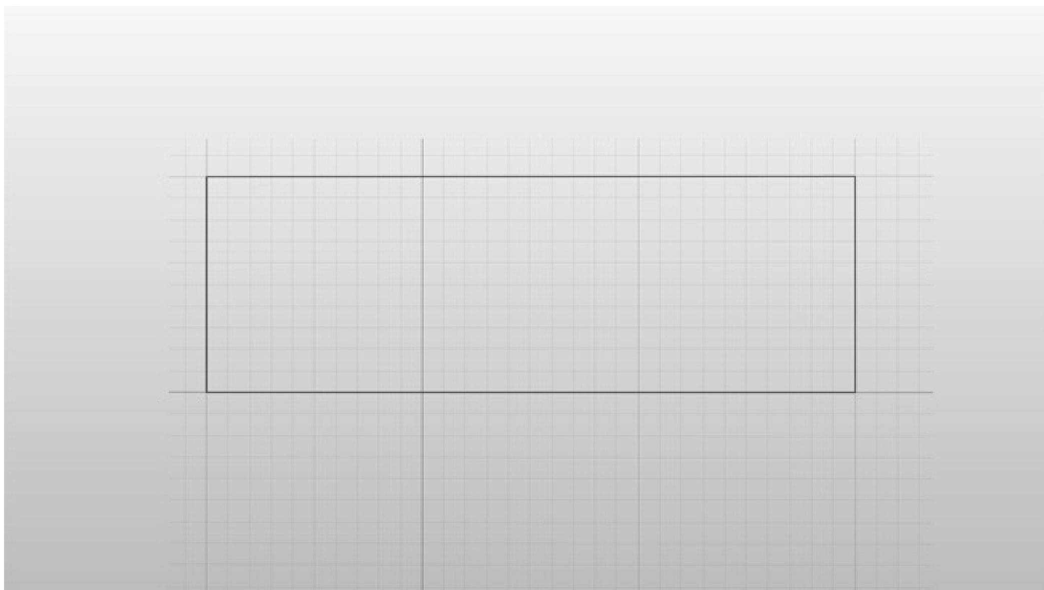


图 4-5

8）再次单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出草绘模式，进入推/拉模式，如图 4-6 所示。

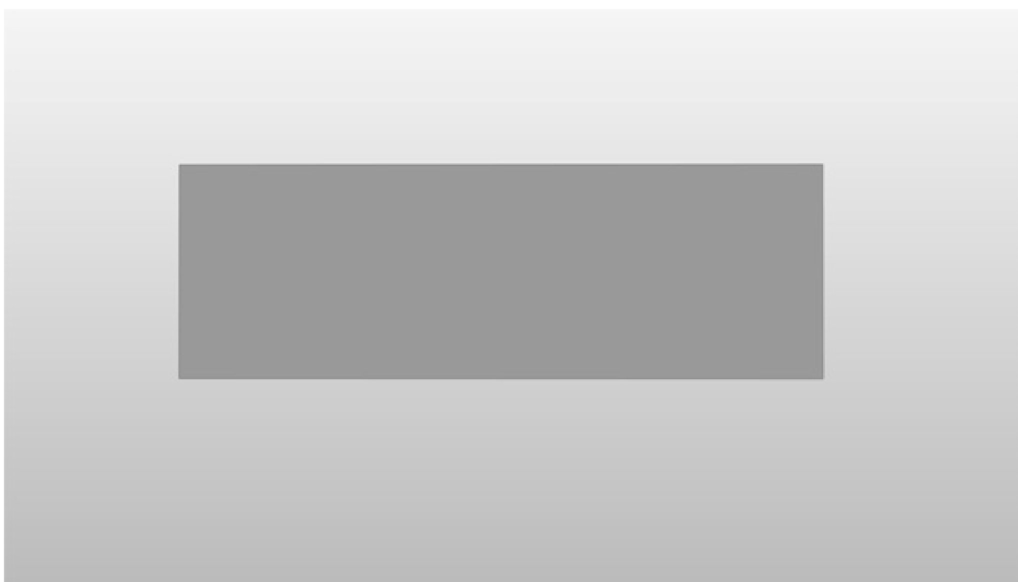


图 4-6

9）使用鼠标右键小幅度地旋转模型，然后单击并拖曳，将矩形拉伸成一个厚度为 10cm 的实体，如图 4-7 所示。

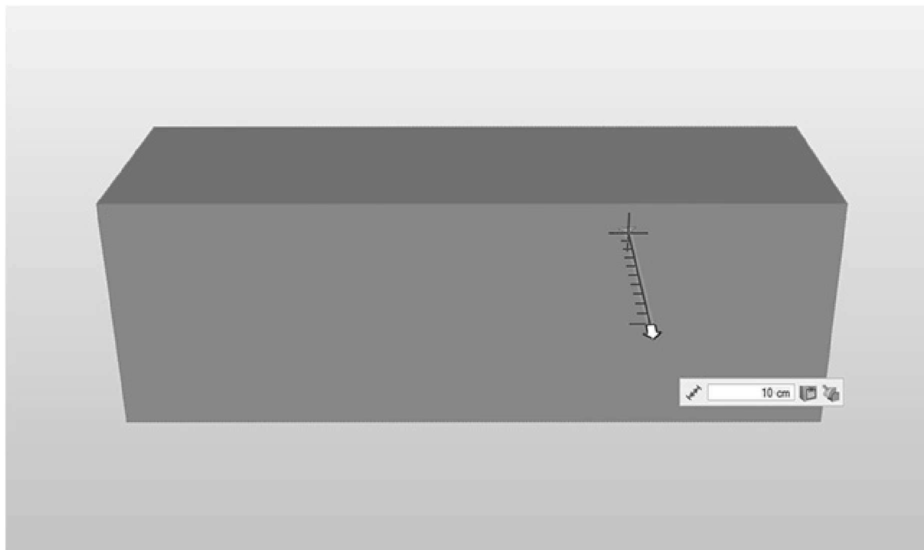


图 4-7

10）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出推/拉模式。

11）使用鼠标右键单击并拖曳，以调整模型方向，从而使 z 轴位于竖直方向，如图 4-8 所示。

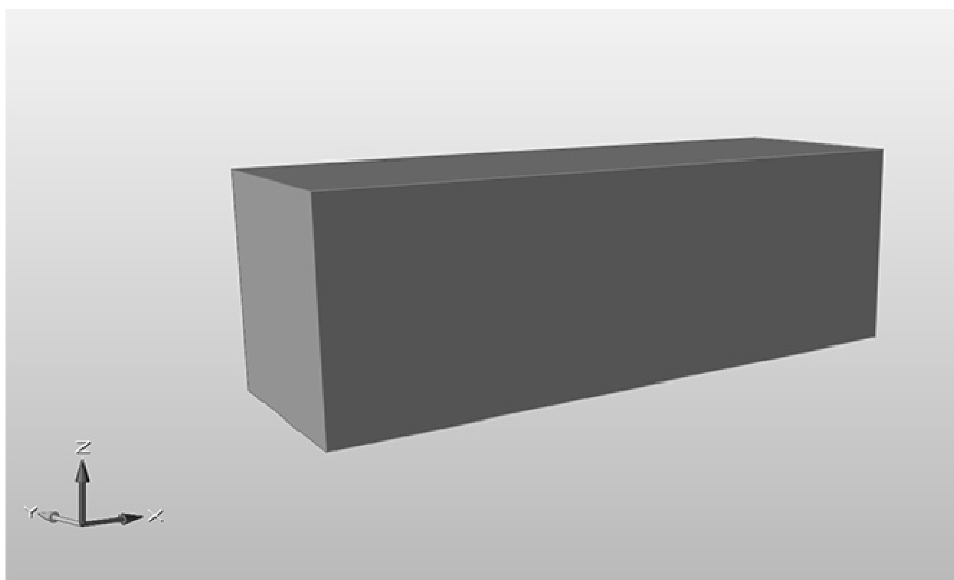


图 4-8

4.2 使用封闭曲线创建一个孔

1）选择几何功能区上的以三点绘制矩形工具。

2）单击已创建实体一端的正方形作为草绘平面，如图 4-9 所示。

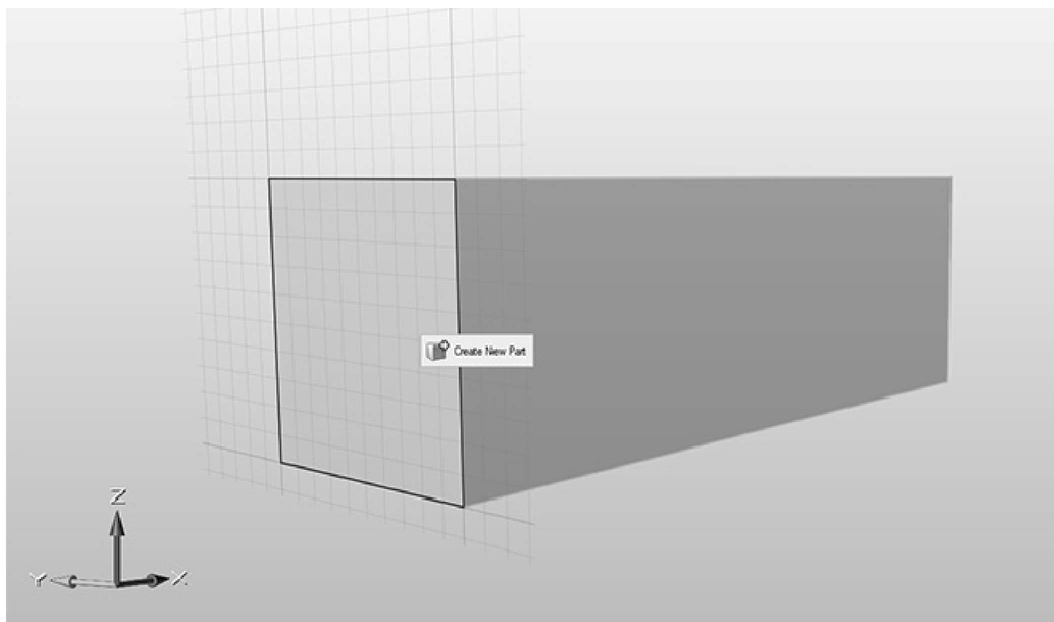


图 4-9

3）使用鼠标右键旋转并调整视图，如图 4-10 所示。

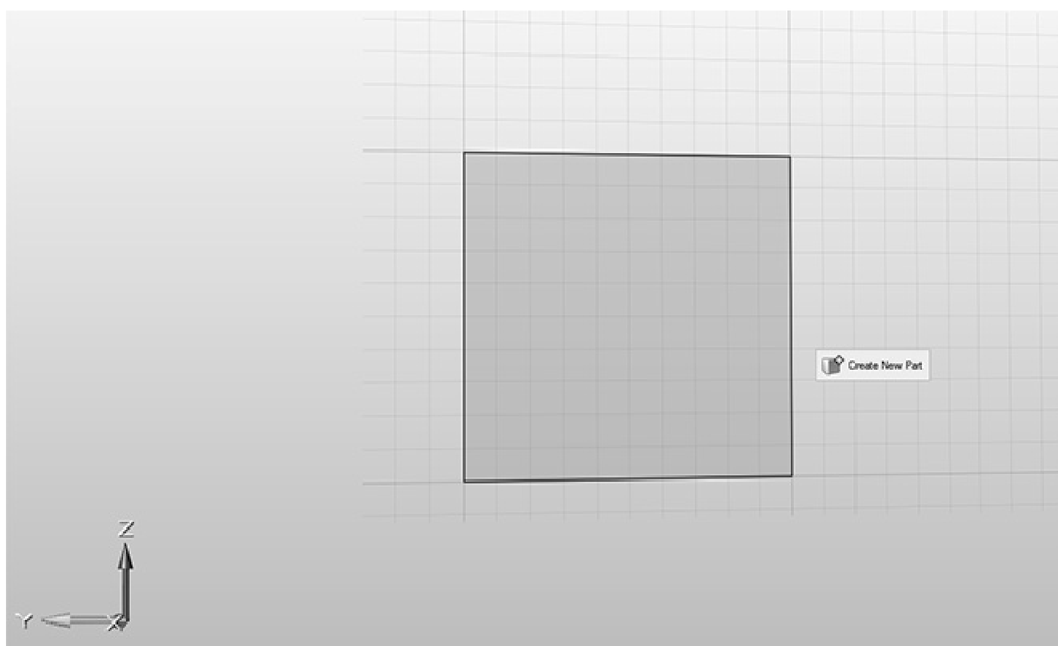


图 4-10

4）使用鼠标左键单击两次放置两个底角，然后单击第三次放置对面的中点，来绘制一

个矩形，所得矩形的高为 6 cm、宽为 8cm，并且一边与实体底边重合，如图 4-11 所示。

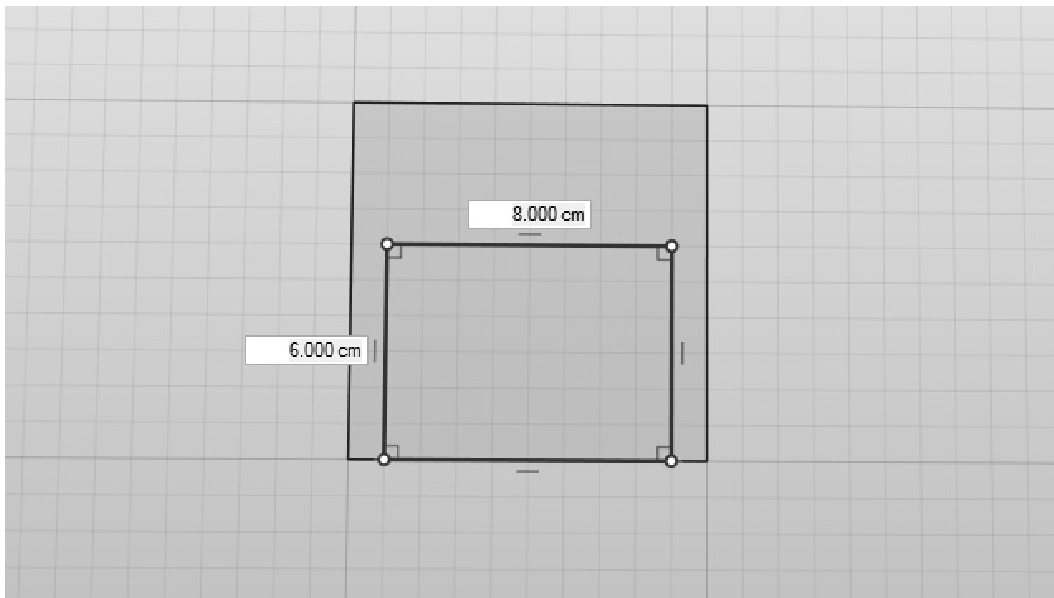


图 4-11

5）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出工具，如图 4-12 所示。

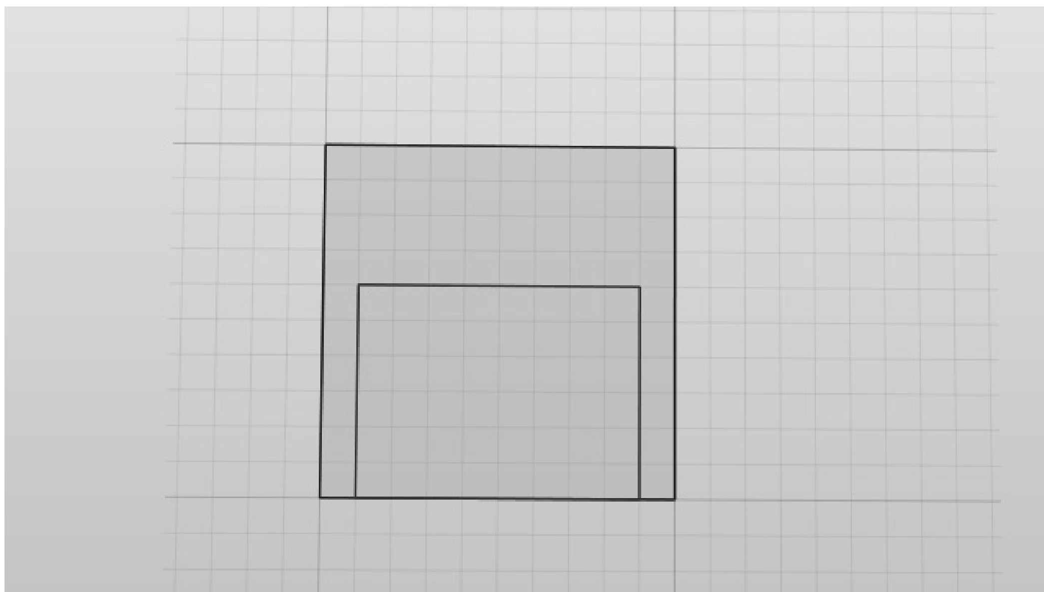


图 4-12

6）再次单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出草绘模式，进入推/拉模式。

7）用鼠标左键单击所得平面并向内推，此时可在实体上推出一个孔，如图 4-13 所示。

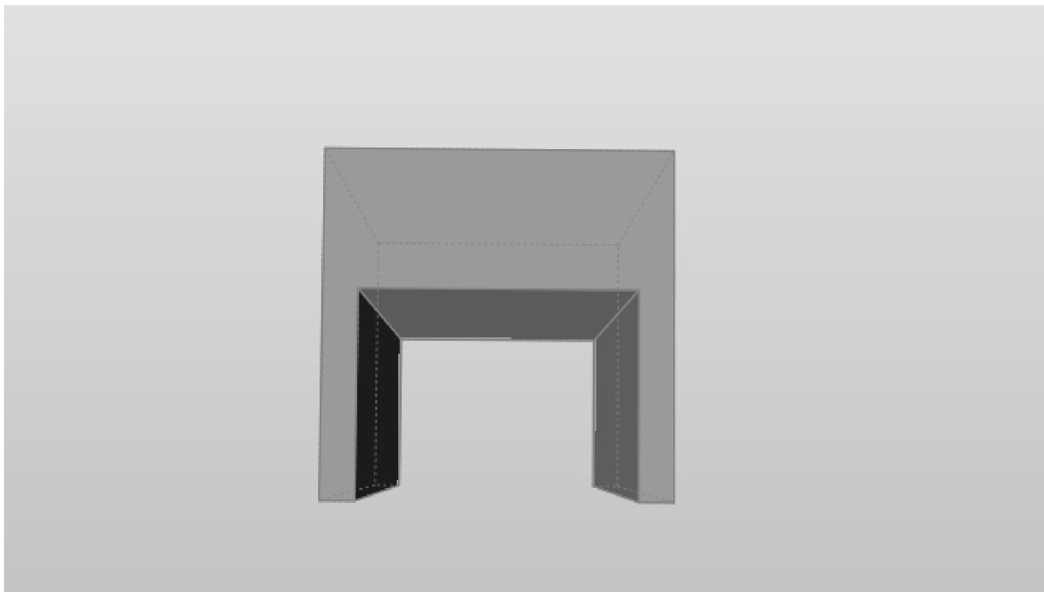


图 4-13

8）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出推/拉模式，然后使用鼠标右键旋转模型至合适的角度，如图 4-14 所示。

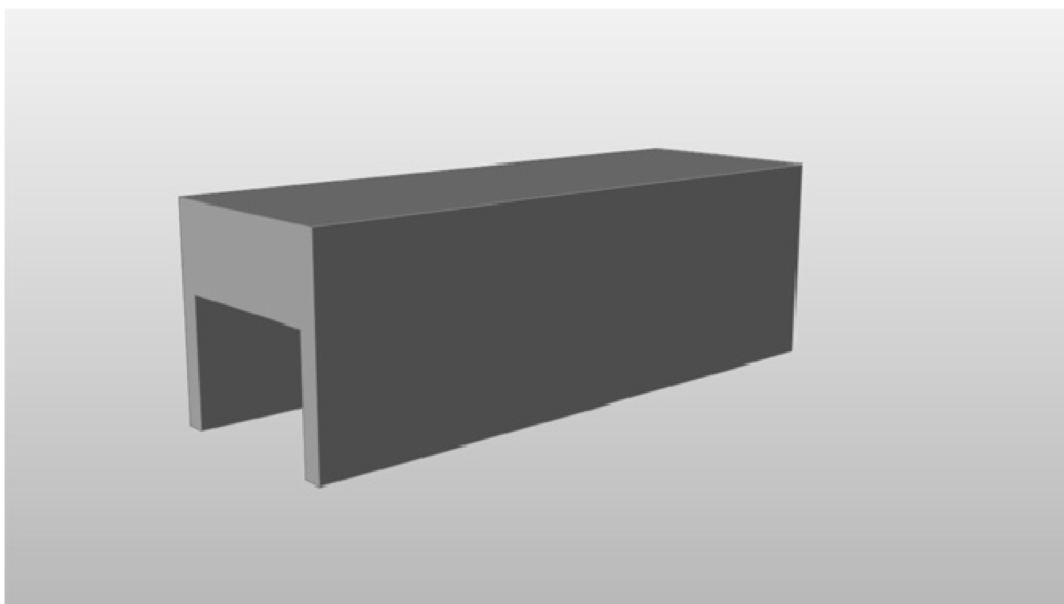


图 4-14

4.3 使用开放曲线剪切实体

1）单击模型视窗左下角的旋转至最近的主轴图标，然后使用鼠标滚轮进行缩小，并

使用鼠标控制调整视图，如图 4-15 所示。

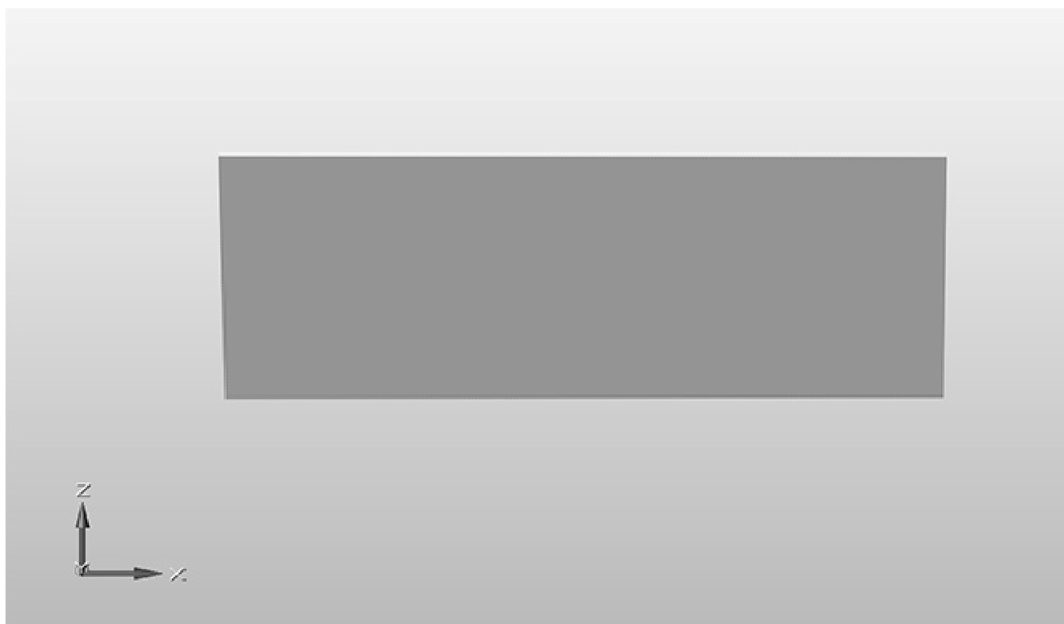


图 4-15

2）选择几何功能区的直线工具 。

3）单击实体以选择草绘平面，如图 4-16 所示。

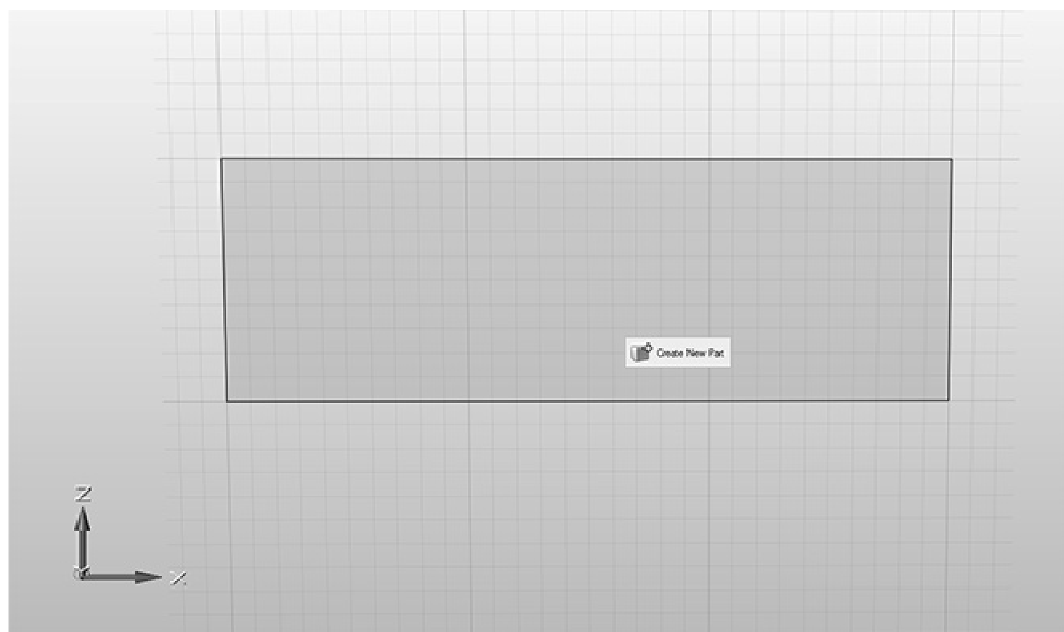


图 4-16

4）单击鼠标左键两次放置直线端点，从而绘制一条直线（直线长度大约为 11.18cm）。

第一个端点位于底角，第二个端点位于顶边 5 cm 处，如图 4-17 所示。

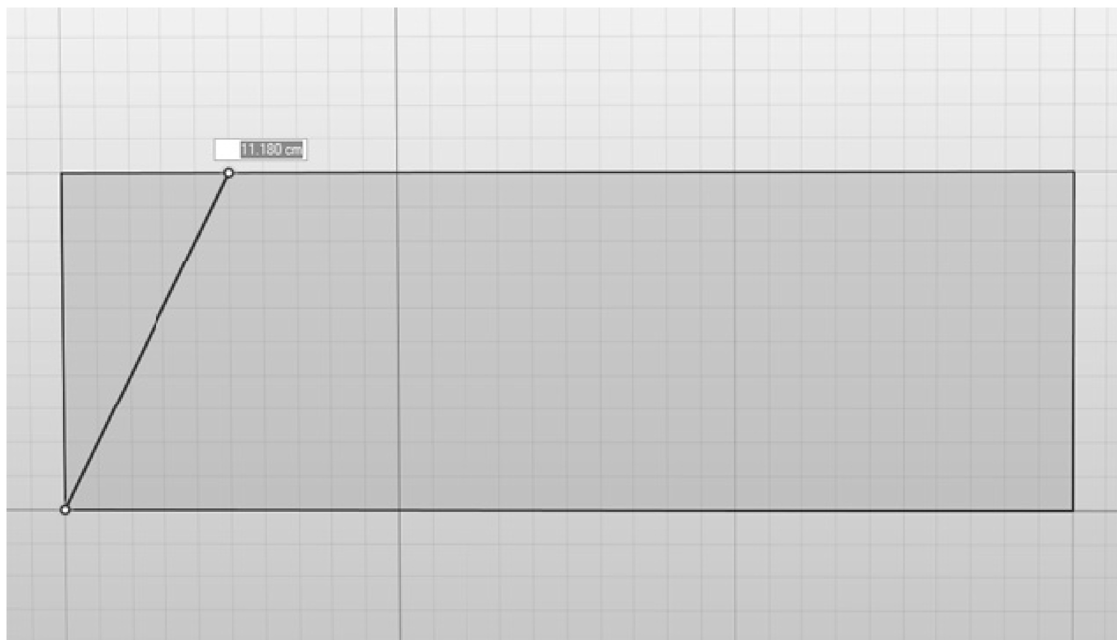


图 4-17

5）在矩形相对一端绘制第二条直线，其一个端点位于顶边 5 cm 处，如图 4-18 所示。

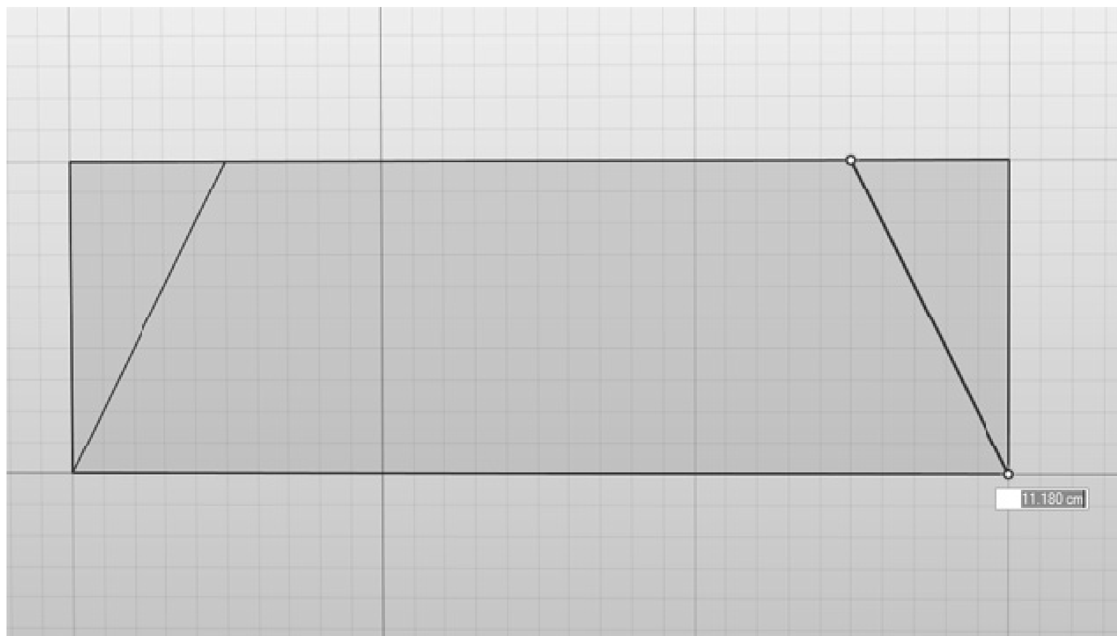


图 4-18

6）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出工具，如图 4-19 所示。

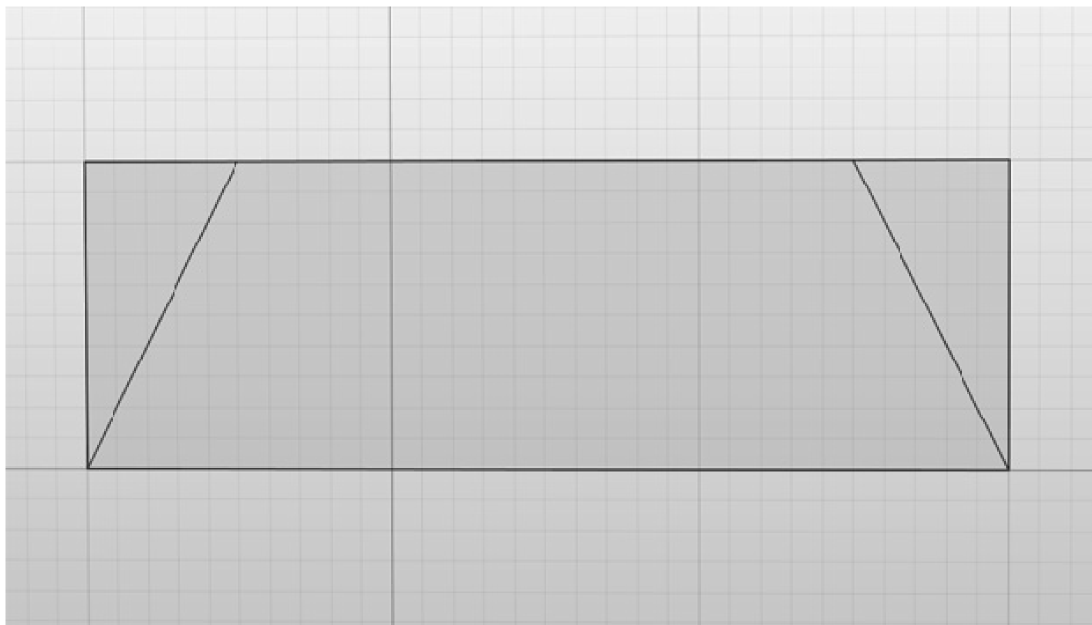


图 4-19

7）再次单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出草绘模式，进入推/拉模式，如图 4-20 所示。



图 4-20

8）用鼠标左键单击并推动其中一个三角面来切割实体，如图 4-21 所示。

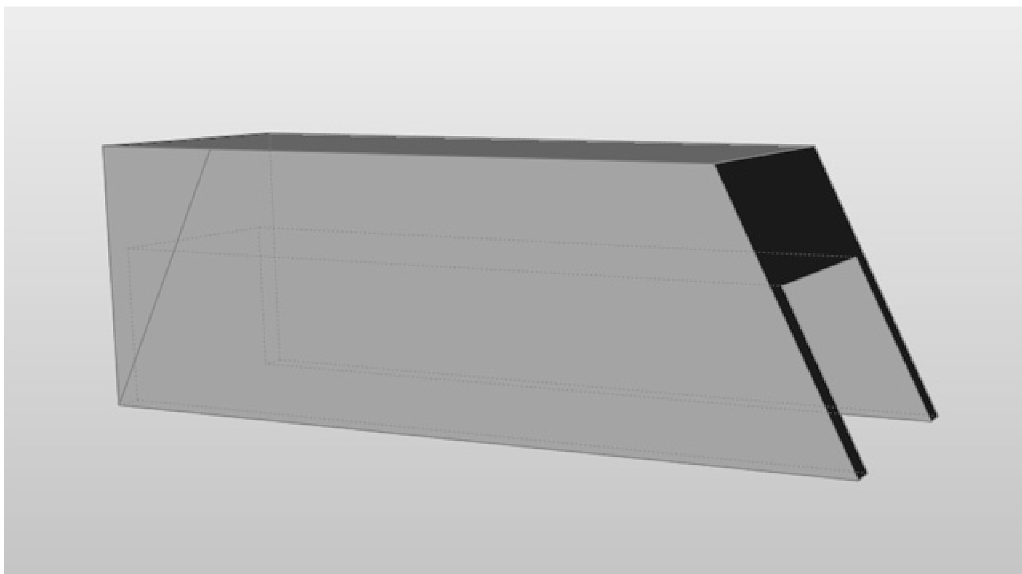


图 4-21

9）用鼠标左键单击并推动另一个三角面来切割相对的一面，如图 4-22 所示。

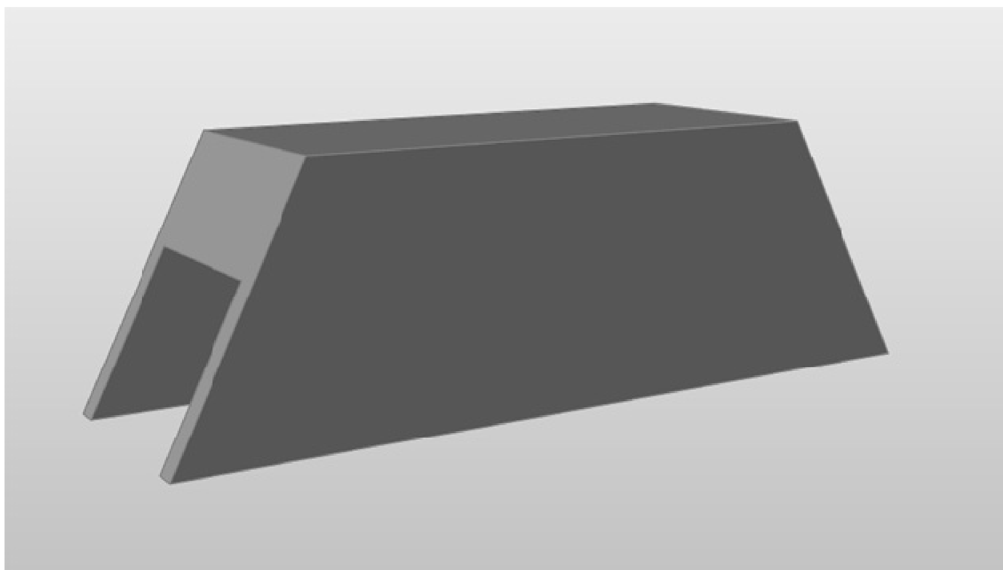


图 4-22

10）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出推/拉模式，然后使用鼠标右键旋转模型至合适的角度。

4.4 创建一个长方形的桥基座

1）使用鼠标右键旋转模型至图 4-23 所示的角度，即可看见桥底。

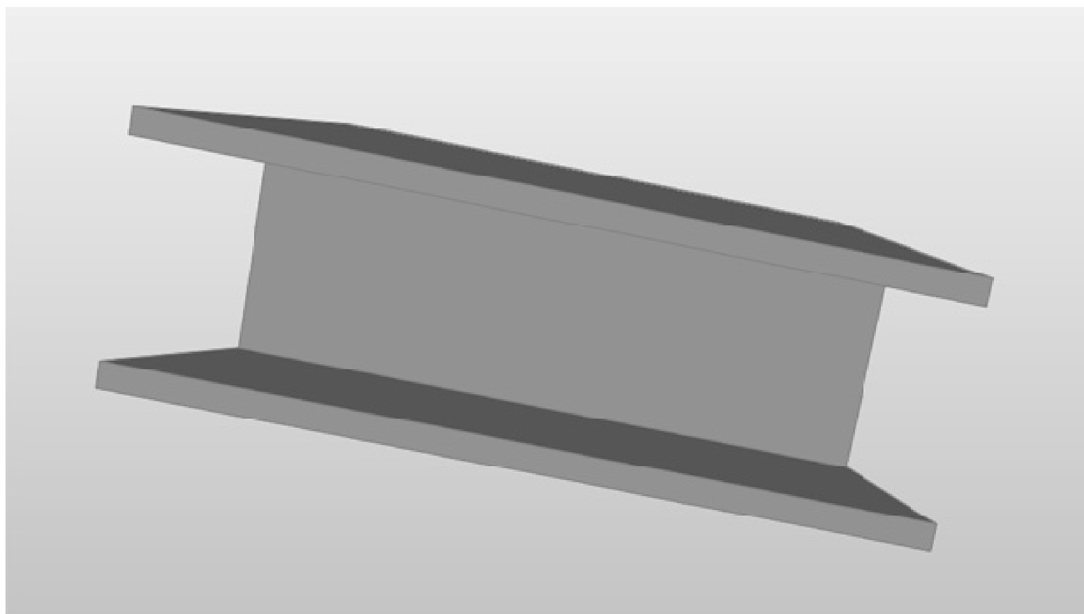


图 4-23

2）选择几何功能区上的以两角点绘制矩形工具。

3）单击其中一个底面作为草绘平面，如图 4-24 所示。

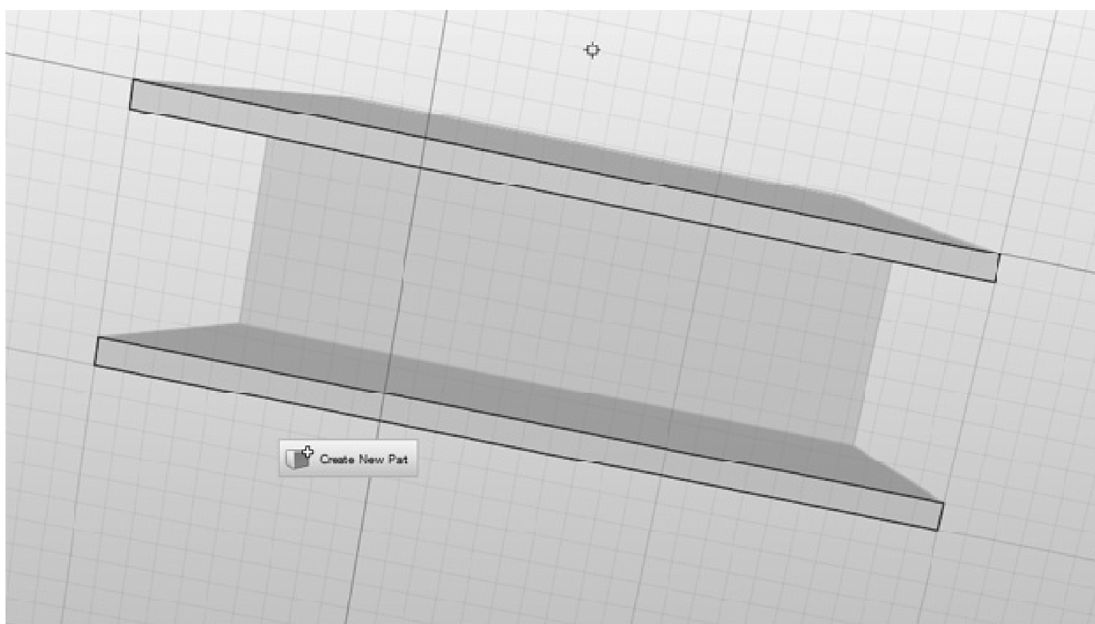


图 4-24

4）单击创建新零件图标 Create New Part，模型浏览器中出现一个新零件，将创建的几何体

会被放置在新零件中，如图 4-25 所示。

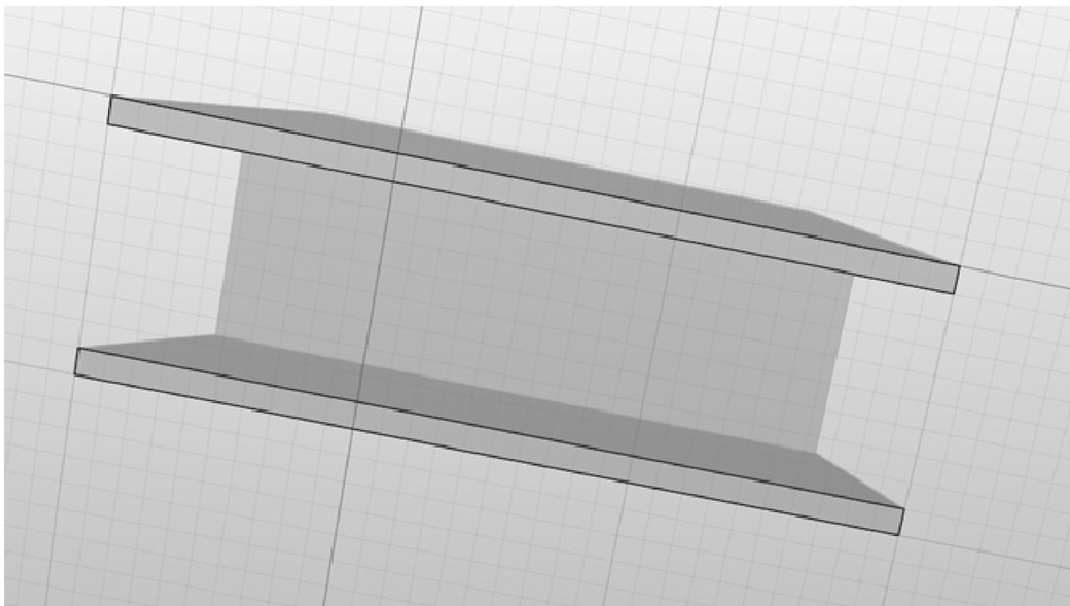


图 4-25

5）使用鼠标左键单击放置两个相对的角点，在底面上绘制一个 30cm×10cm 的矩形，如图 4-26 所示。

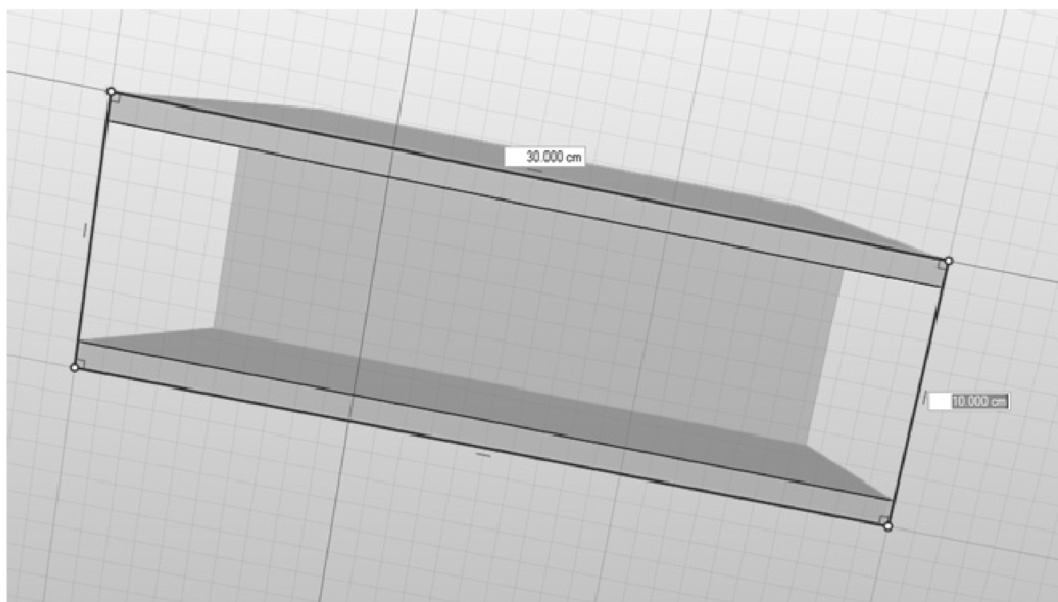


图 4-26

6）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出工具，如图 4-27 所示。

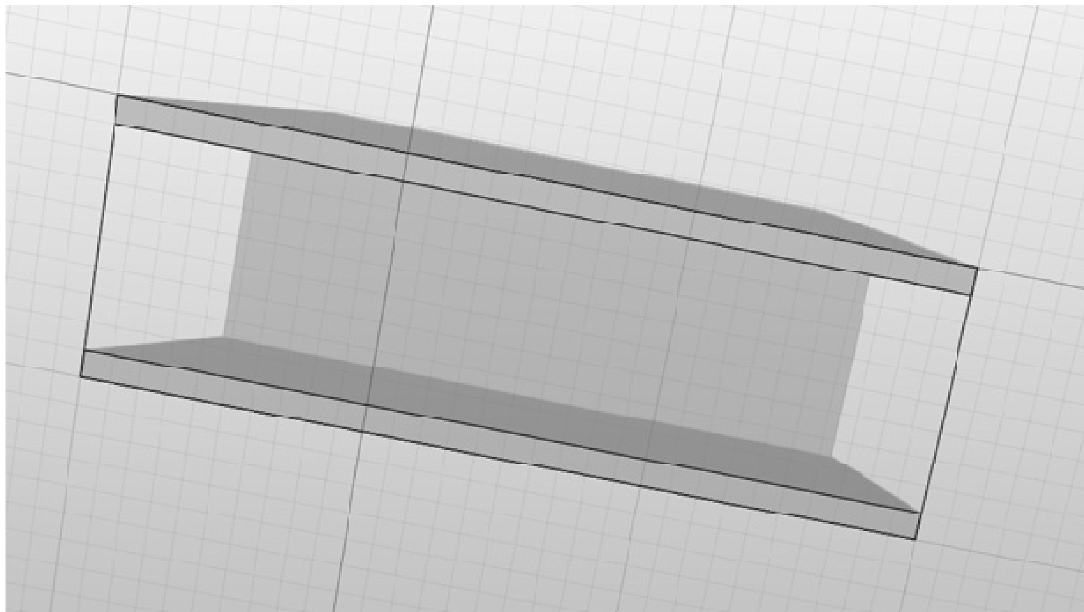


图 4-27

7）再次单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出草绘模式，进入推/拉模式，如图 4-28 所示。

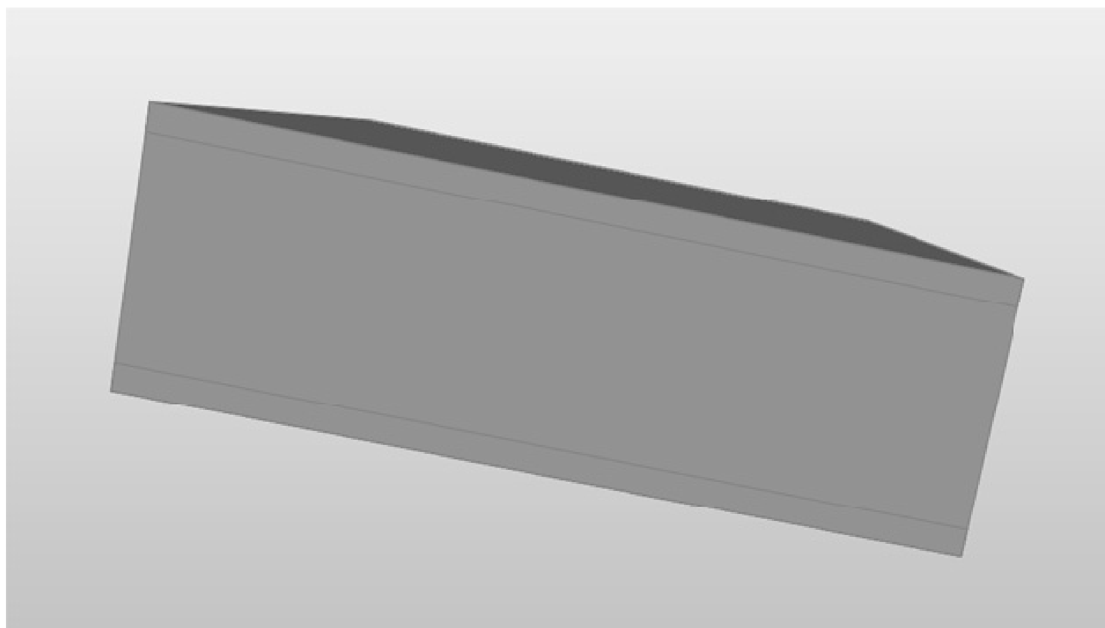


图 4-28

8）单击并拖动鼠标左键，将该矩形拉伸成一个高为 1cm 的实体，或者在文本框中输入“1.0”并按〈Enter〉键确认即可，如图 4-29 所示。

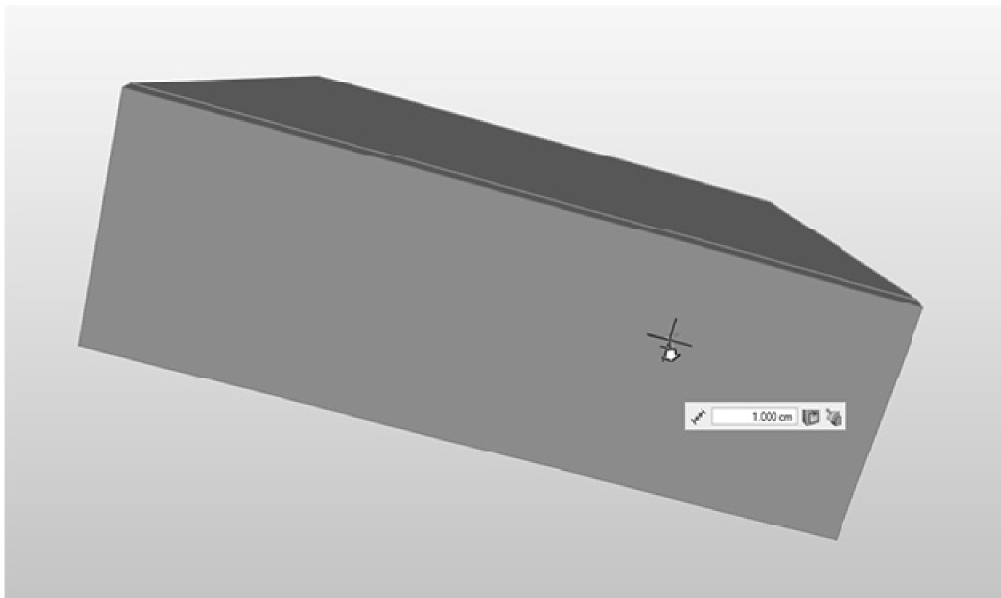


图 4-29

9）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出推/拉模式，然后使用鼠标右键旋转模型至合适的角度，如图 4-30 所示。

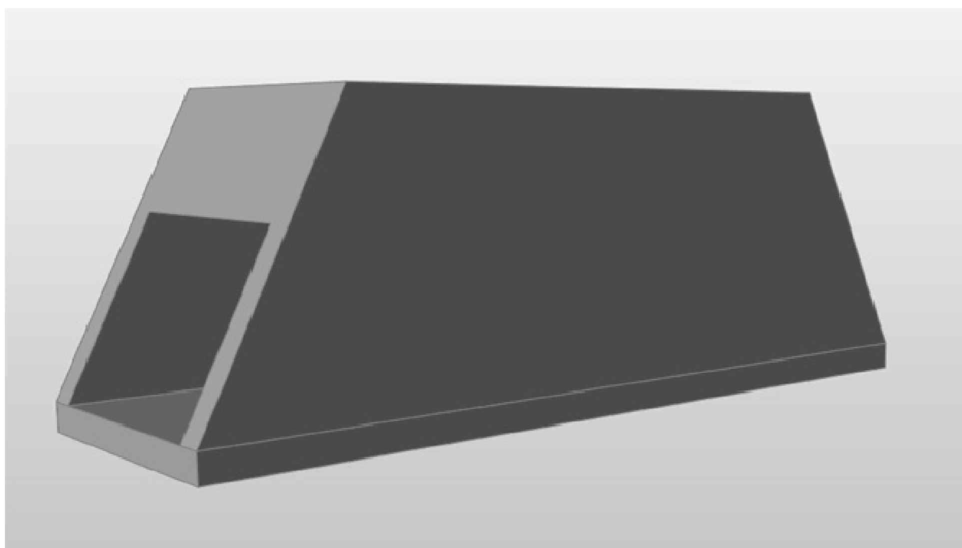


图 4-30

4.5 施加固定约束

1）调整视图直至可以看到底面上的 4 个角，如图 4-31 所示。

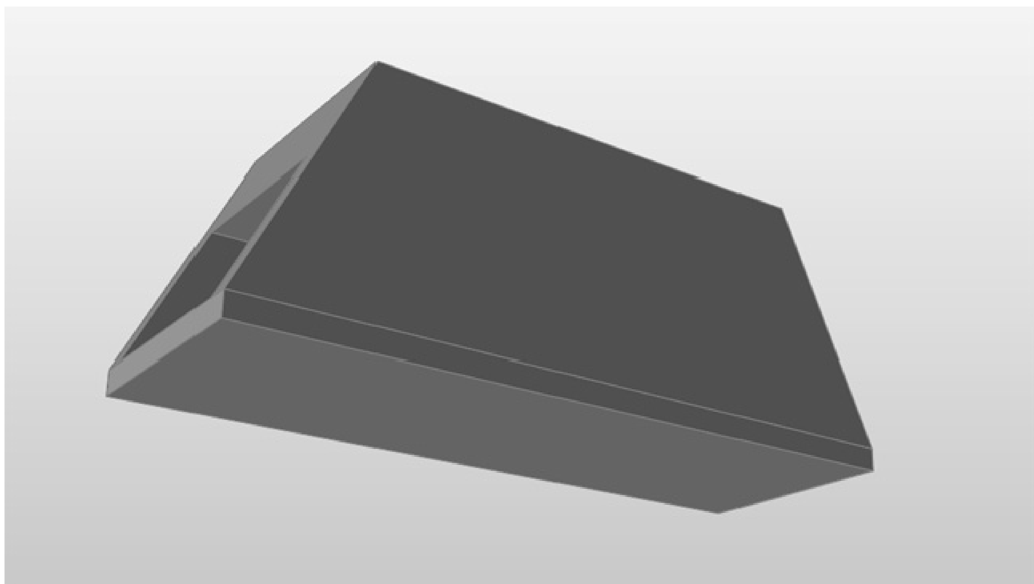


图 4-31

2）从仿真结构功能区的载荷图标上选择施加约束工具。

3）将鼠标光标移动到最左侧的角上，直到鼠标光标显示为点约束图标。

4）单击该角施加一个固定约束，该约束即显示为一个小圆锥图案，如图 4-32 所示。

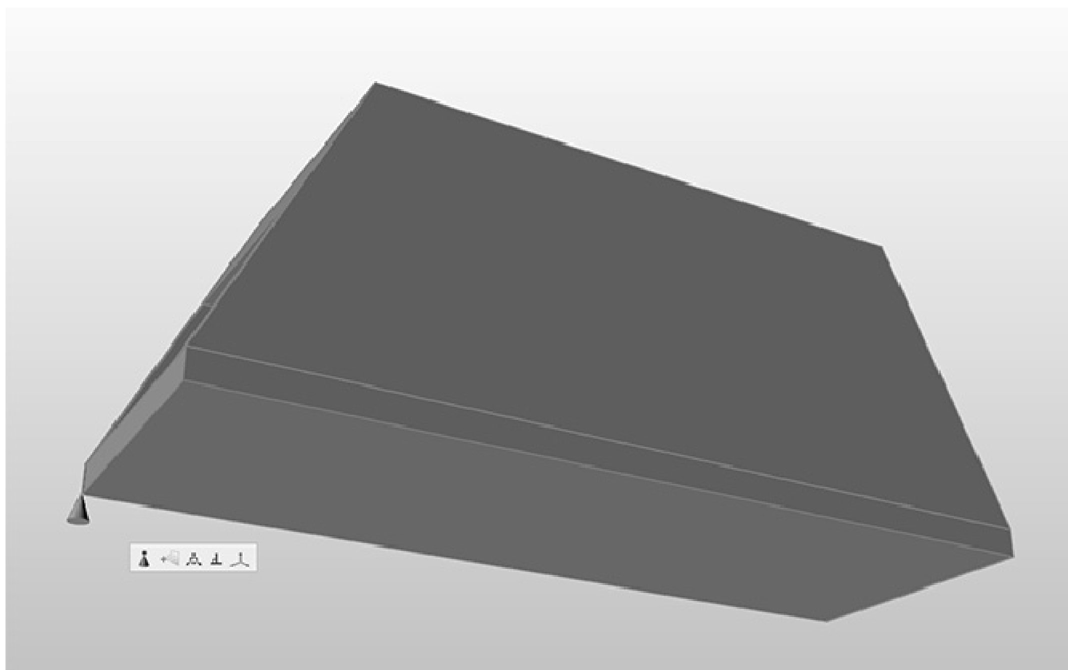


图 4-32

5）在左前角施加另一个点约束，如图 4-33 所示。

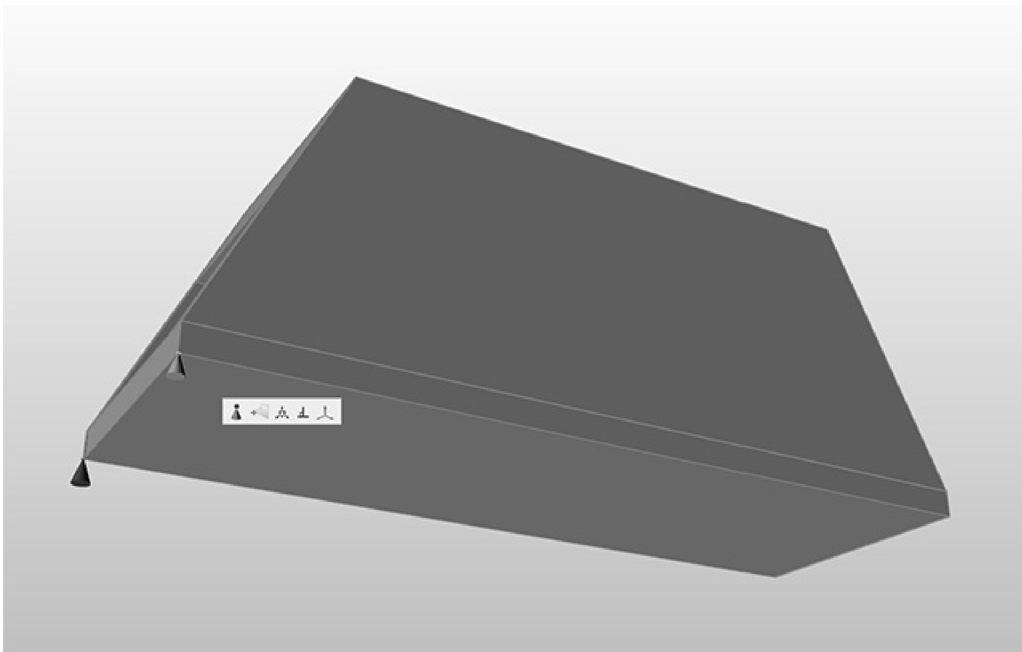


图 4-33

6）双击该固定约束圆锥，此时显示 3 个清晰的坐标轴，表明在这 3 个方向的移动均被锁定。单击图 4-34 所示的一个坐标轴，即可在该方向进行移动。选中的坐标轴会呈现出绿色，连续单击则可在打开和关闭该功能之间进行切换。

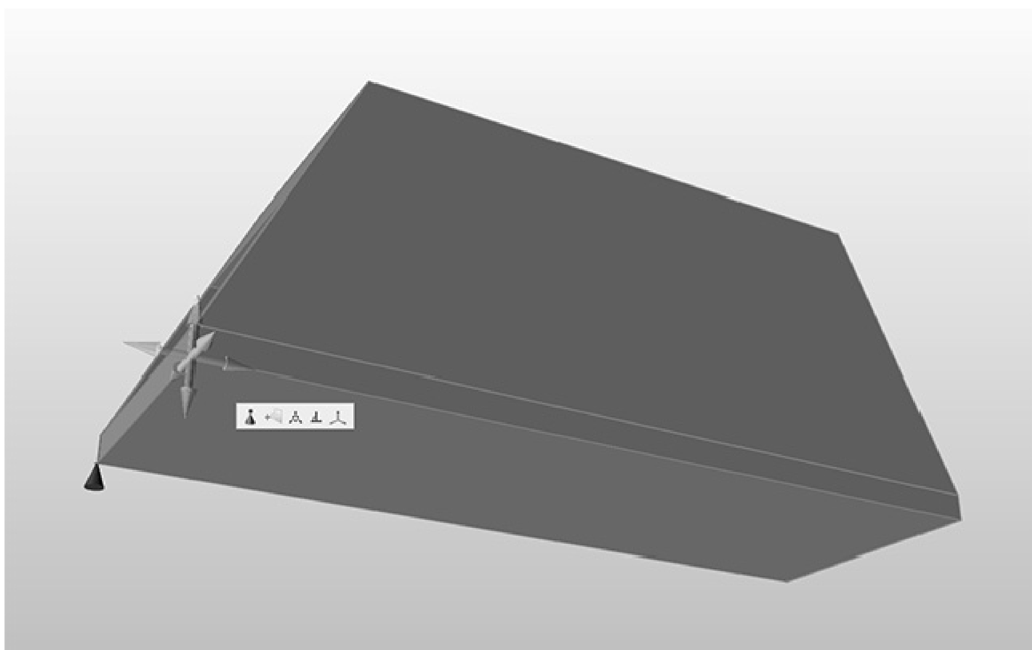


图 4-34

7）用鼠标右键单击退出，用鼠标左键单击取消选择。此时约束圆锥下方会出现两个绿色轮子，表明此约束在一个方向上可自由移动，如图 4-35 所示。

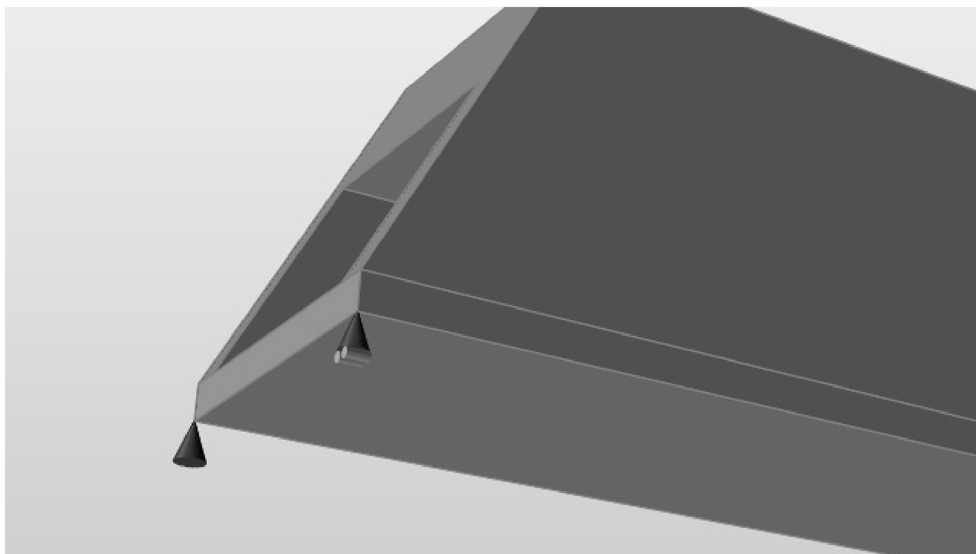


图 4-35

8）在其他两个角上施加点约束。双击固定约束圆锥，并选择图 4-36 所示的坐标轴，从而使固定约束可在两个方向上自由移动，如图 4-36 所示。

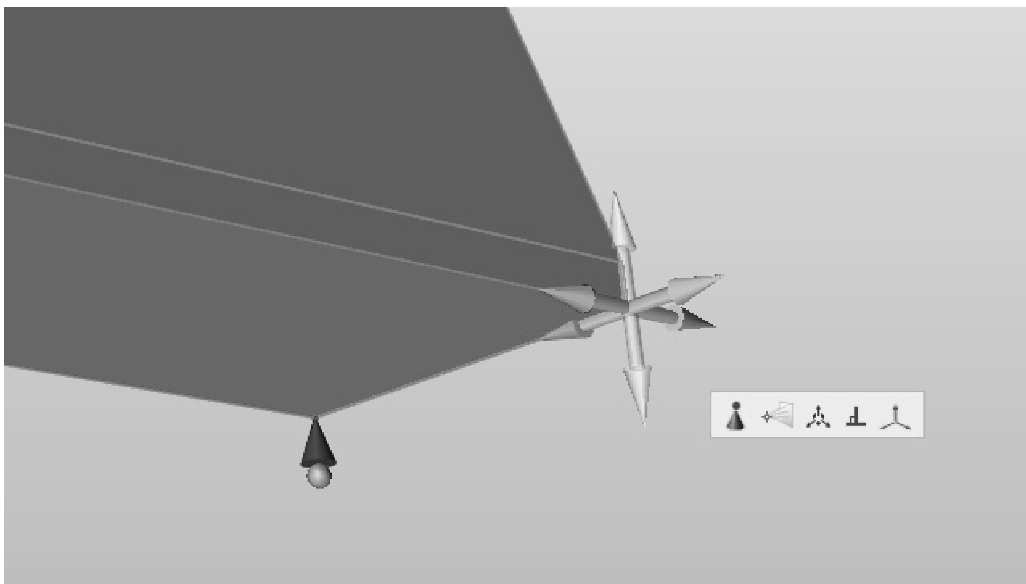


图 4-36

9）用鼠标右键单击退出，用鼠标左键单击取消选择。红色的固定约束圆锥图标下方出现两个绿色的球，表明固定约束可在两个方向上自由移动，如图 4-37 所示。

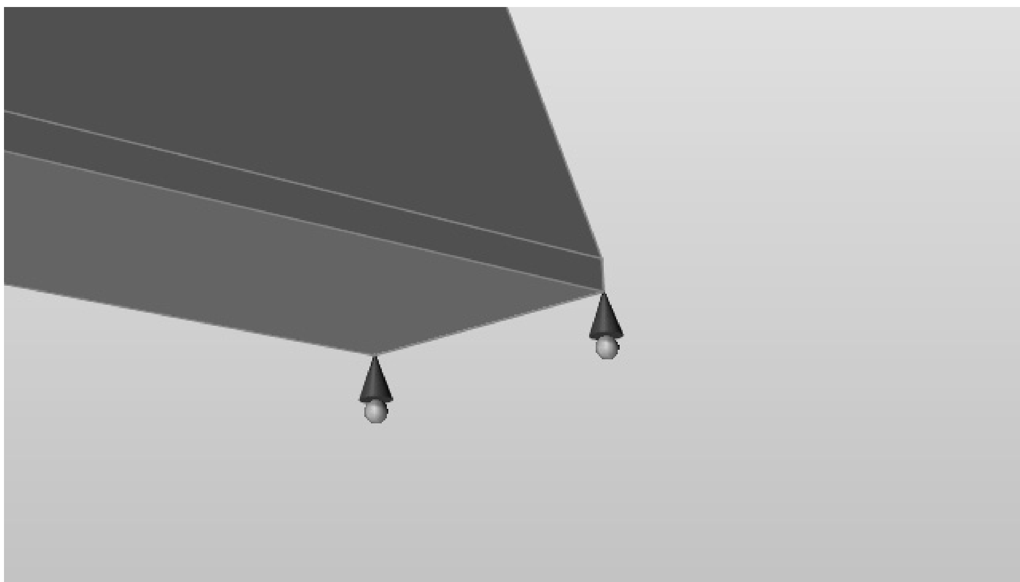


图 4-37

10）缩小并调整视图，此时出现如图 4-38 所示的模型。

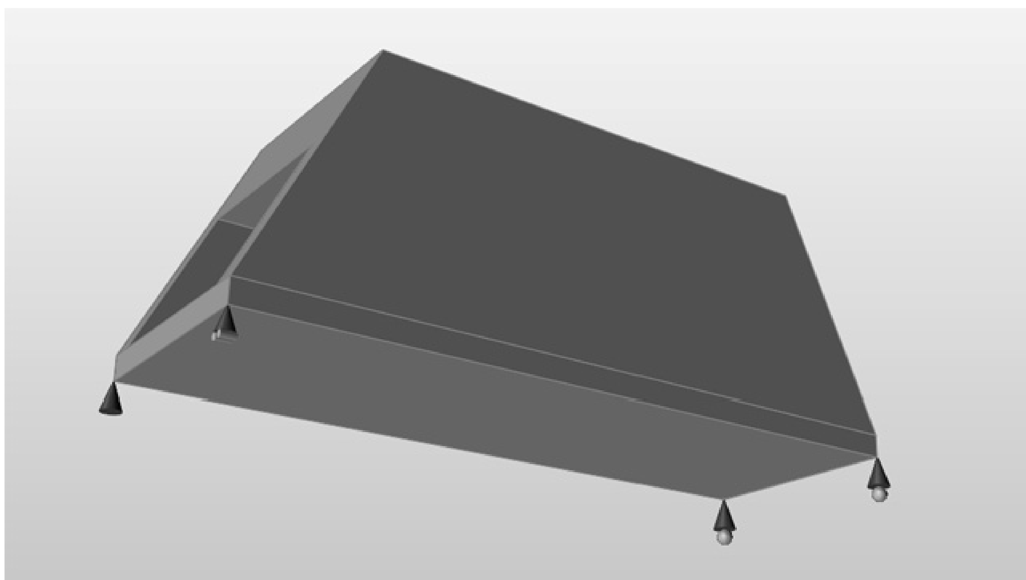


图 4-38

4.6　定义设计空间

1）用鼠标右键单击桥体零件（选中的零件呈现为黄色），弹出一个快捷菜单，如图 4-39 所示。

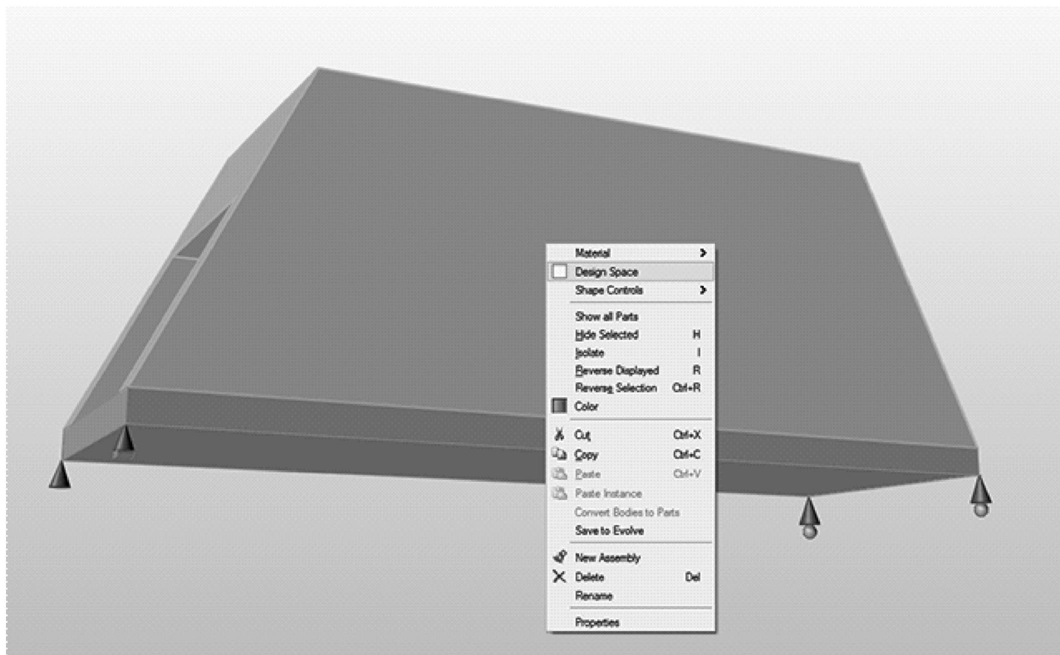


图 4-39

2）选中菜单中的设计空间复选框。在运行优化时，所有被定义为设计空间的零件都将会生成一个新形状。

3）如果模型不可见，则按〈F2〉键打开模型浏览器，如图 4-40 所示。

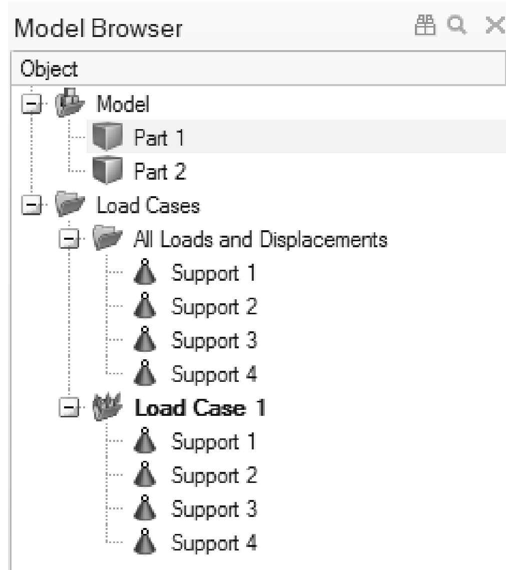


图 4-40

4）在选中桥体零件时，单击模型浏览器中的 Part 1，相应文本框变为可编辑状态，如图 4-41 所示。

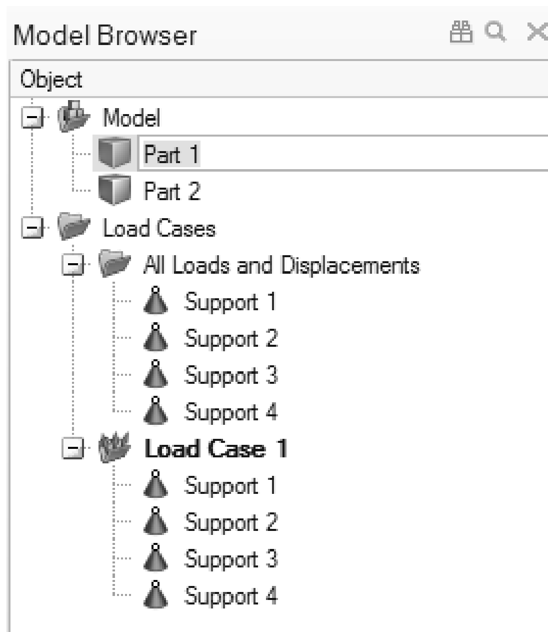


图 4-41

5）输入 bridge 并按〈Enter〉键来重命名该零件，如图 4-42 所示。

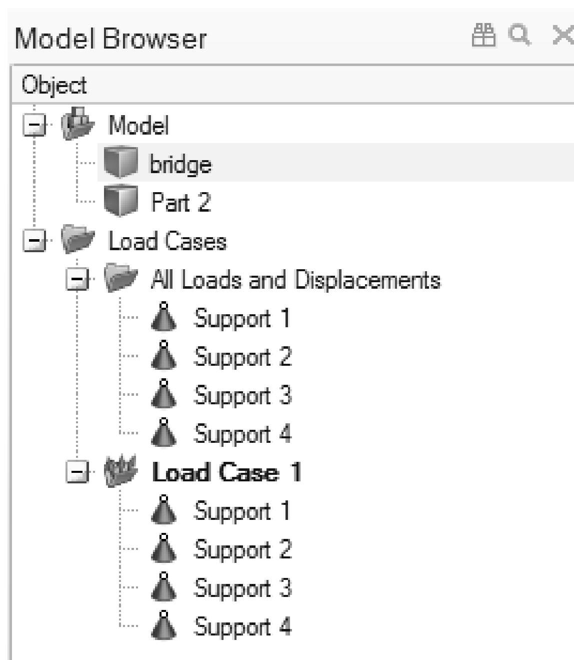


图 4-42

6）选择 Part 2 并在模型浏览器中将其重命名为 base，如图 4-43 所示。

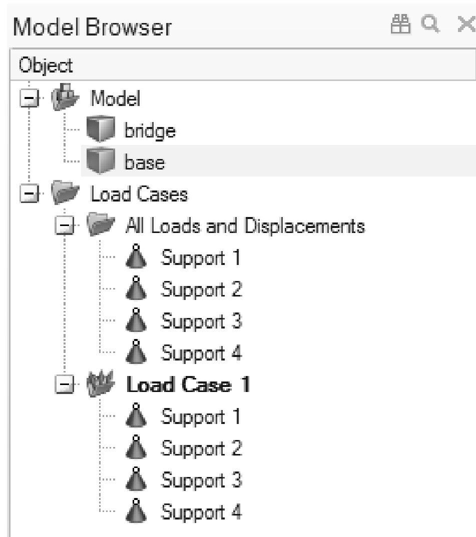


图 4-43

7）单击模型视窗中的空白处，取消选定零件。此时桥体零件变为设计空间，其在未选中状态下显示为红棕色，如图 4-44 所示。

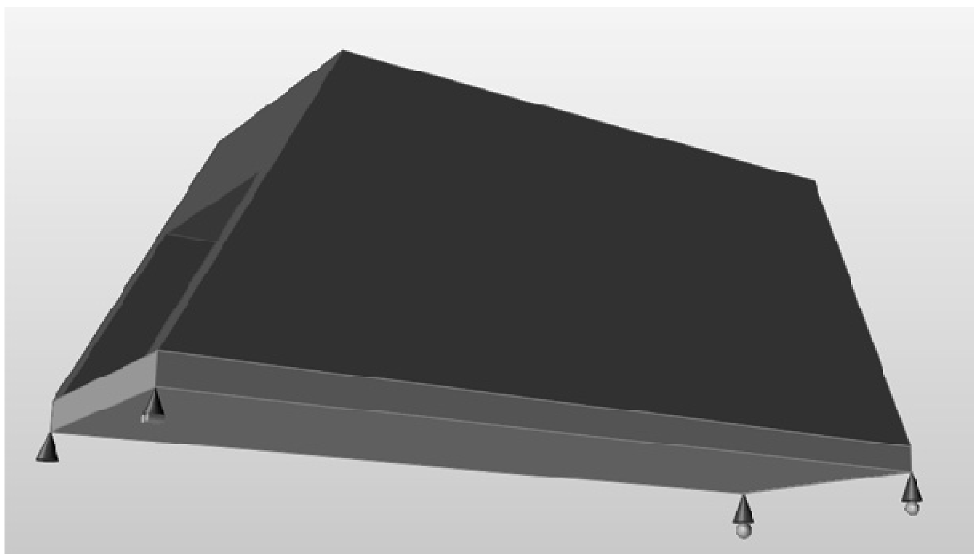


图 4-44

4.7 施加一个压力

1）调整视图，使模型如图 4-45 所示。

2）从“结构仿真”菜单中的载荷图标上选择施加压力工具。

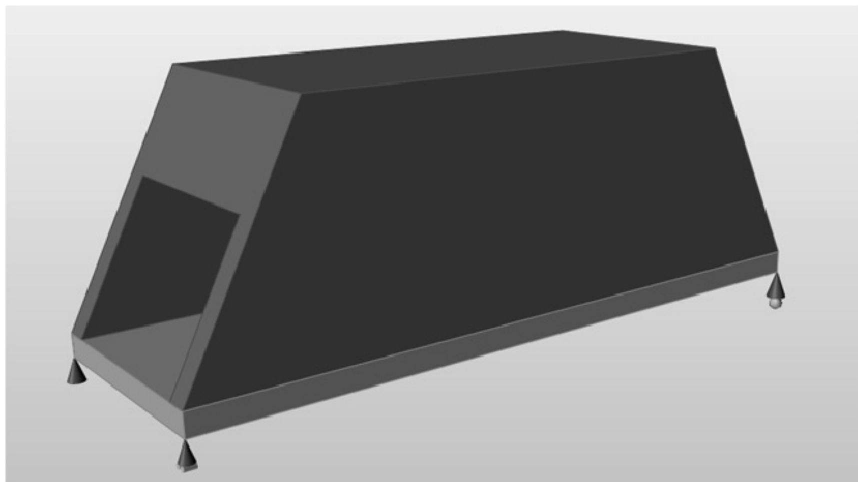


图 4-45

3）将鼠标光标移动至基座上方，单击顶面，施加一个压力，如图 4-46 所示。

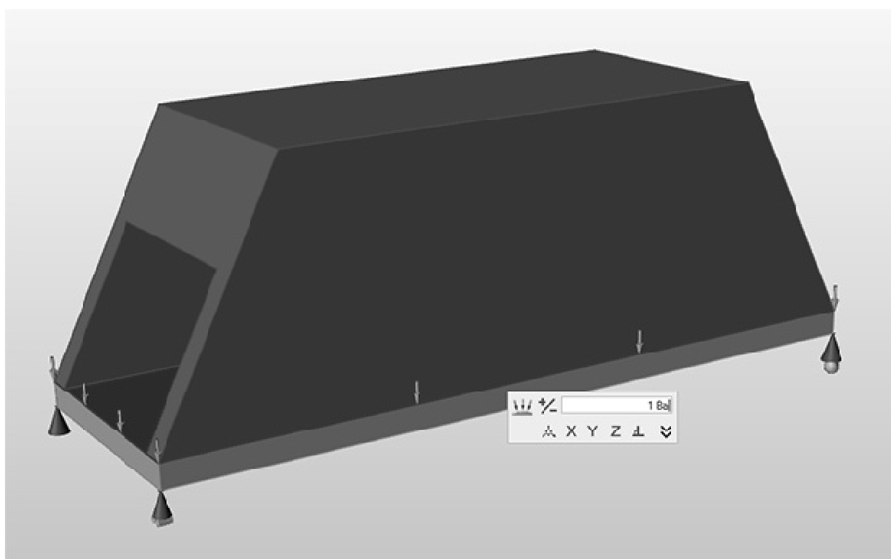


图 4-46

4）此时弹出该压力的小对话框，通过该工具栏可修改其方向或大小，在文本框中输入“10”并按〈Enter〉键，如图 4-47 所示。

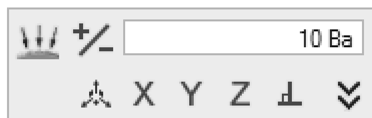


图 4-47

5）用鼠标右键单击空白处，或按〈Esc〉键退出工具。

4.8 施加形状控制

1）在结构仿真功能区中的形状控制图标上选择对称工具。

2）此时弹出二级功能区，默认选中对称工具。

3）单击设计空间，此时显示 3 个红色对称平面，表明这 3 个平面全部处于激活状态，如图 4-48 所示。

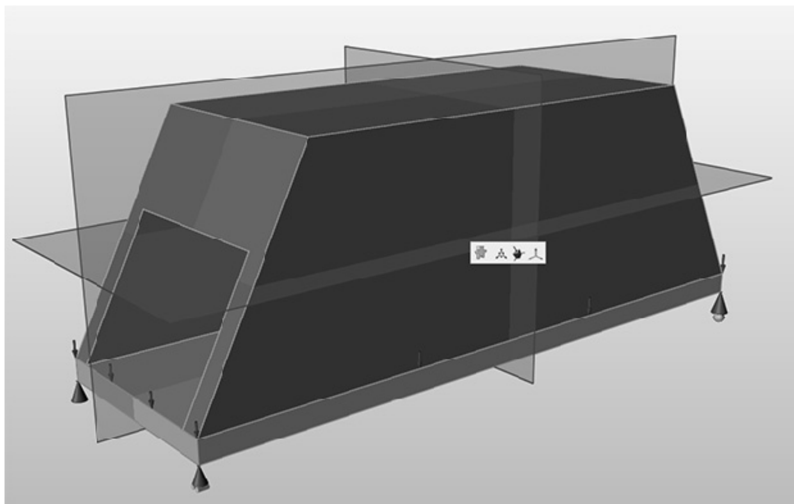


图 4-48

4）单击某一对称平面，切换其打开和关闭状态。取消选定图 4-49 所示水平平面，则该平面变为透明状态。

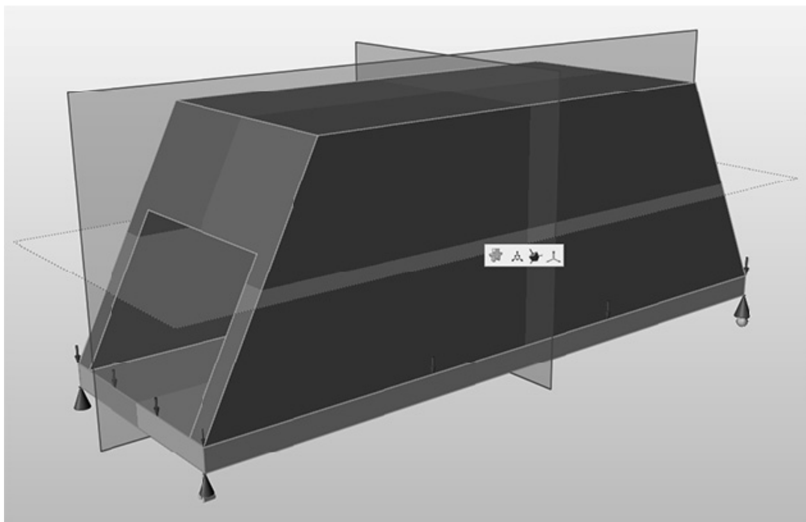


图 4-49

5）用鼠标右键单击空白处，或按〈Esc〉键退出工具。

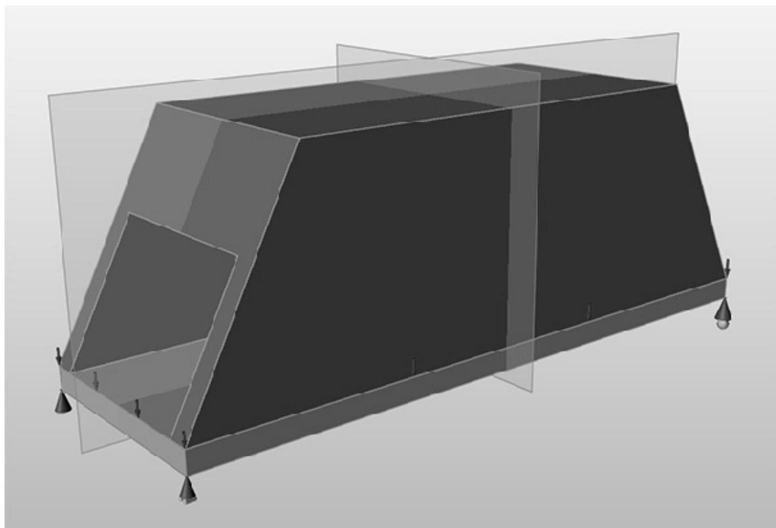


图 4-50

4.9 运行优化，生成形状

1）从结构仿真功能区的优化图标中选择运行优化工具，弹出运行优化窗口，如图 4-51 所示。

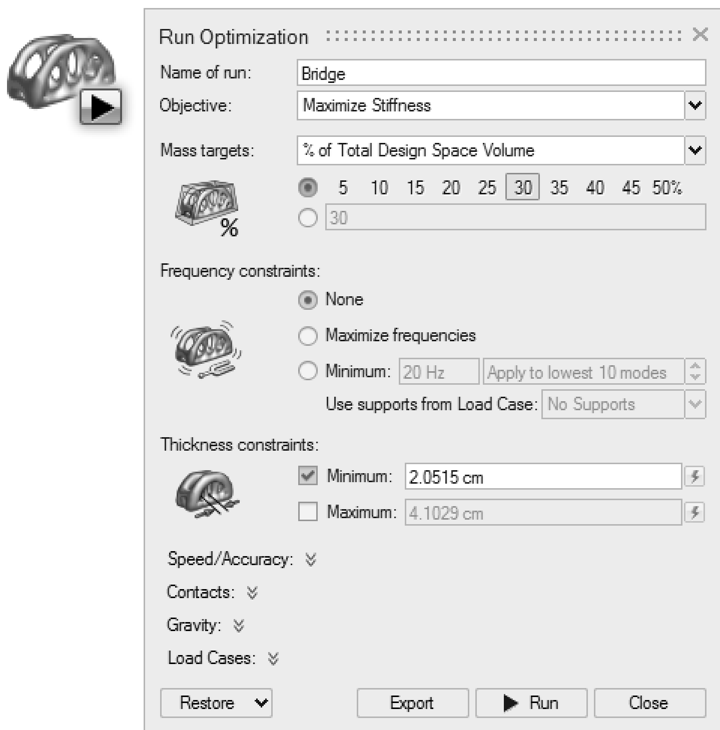


图 4-51

2）选择最大化刚度作为优化目标。

3）在 Mass targets 下拉列表中选择% of Toal Design Space Volume，并且选中“10”，表明生成的形状占设计空间总材料的 10%，如图 4-52 所示。

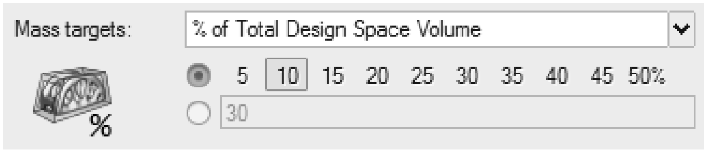


图 4-52

4）在厚度约束中，将最小改为 1.3 cm，如图 4-53 所示。

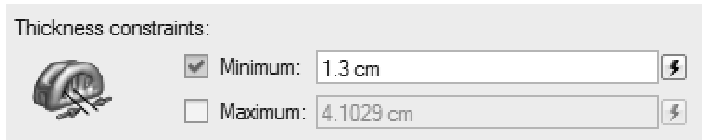


图 4-53

5）单击 Run 按钮来运行优化，弹出另一个优化运行状态窗口，其中含有显示此次运行状态的进度条（括号中的数字为计数器，每次运行新优化时该计数器均会增加一次），如图 4-54 所示。

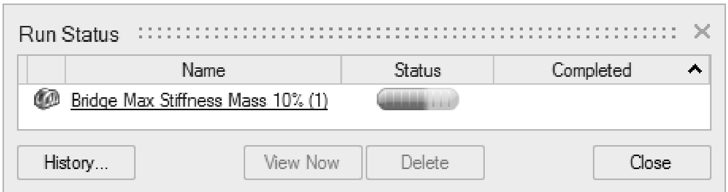


图 4-54

6）运行完成后，进度条会变成一个绿色圆圈，如图 4-55 所示。

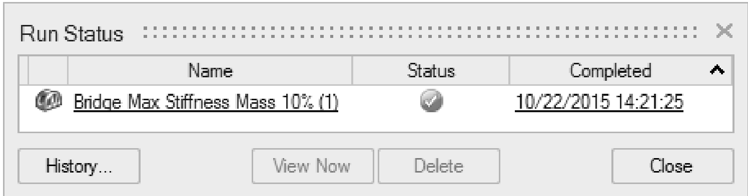


图 4-55

7）双击运行状态窗口中的运行名称，生成的形状即会显示在模型视窗中，如图 4-56 所示。

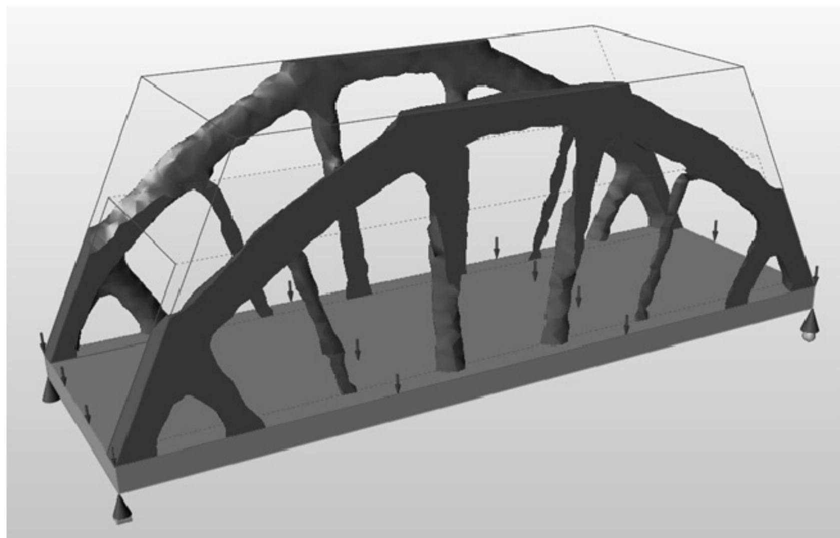


图 4-56

4.10 探索优化结果

1）首次查看优化后的形状时，形状探索器出现在模型视窗的右上角，如图 4-57 所示。

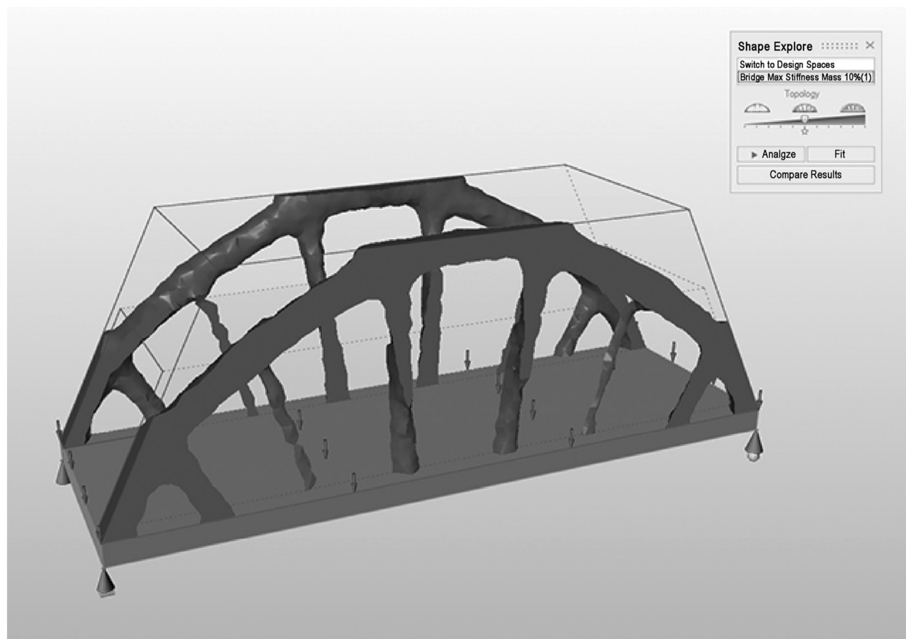


图 4-57

2）调整视图，以获得更佳的可以俯视桥体的角度，如图 4-58 所示。

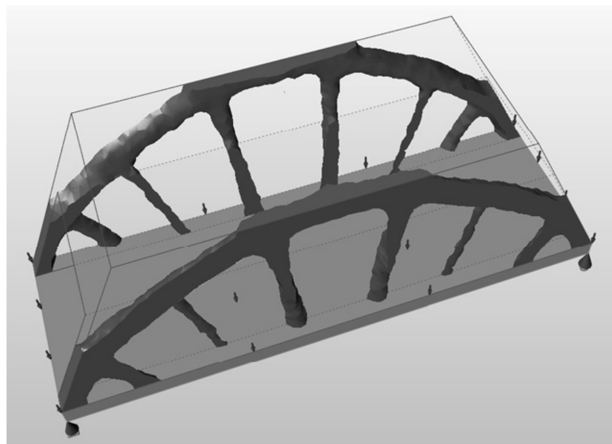


图 4-58

3）单击并拖动形状探索器中的拓扑滑块，增加或减少设计空间中的材料，如图 4-59 所示。

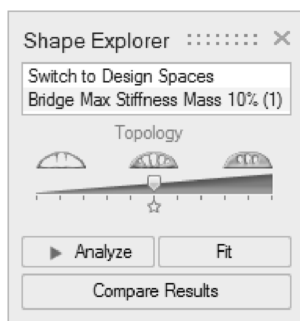


图 4-59

4）如果增加材料总量，桥体顶部即会出现新的几何体。这表明，可能需要增加设计空间总体积的 % 来重新运行优化，如图 4-60 所示。

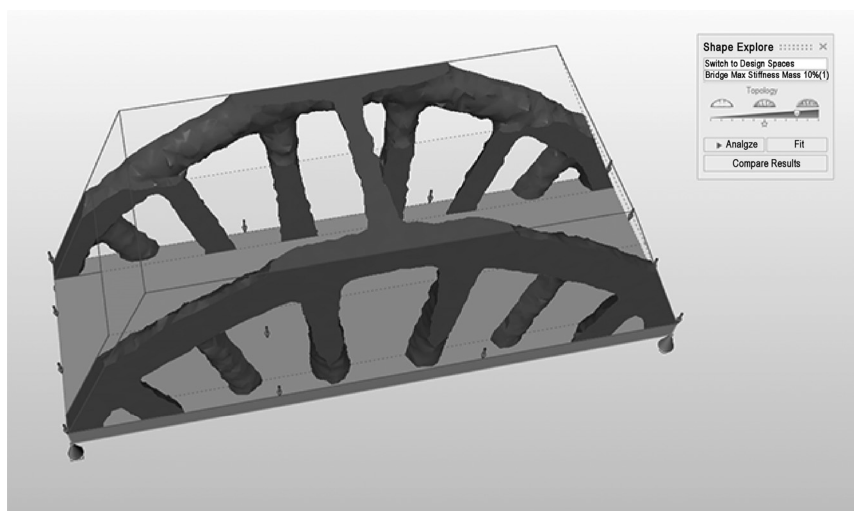


图 4-60

5）选择形状探索器中的“转换到设计空间”，查看初始设计空间。如果已退出形状探索器，则可以单击优化图标中的桥体，随时查看由最新运行的优化而生成的形状。

6）当在该零件上运行更多的优化后，所有新增运行都将出现在形状探索器列表中，如图 4-61 所示。单击列表中的某个运行，查看该运行后所得到的优化形状。

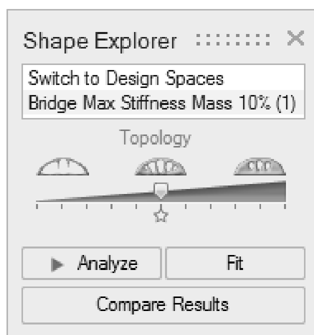


图 4-61

4.11 扩展阅读

1. 草绘约束

使用草绘工具时，可以使用草绘约束对直线、矩形、圆、弧施加相切、垂直等几何关系。在草绘过程中，Inspire 会自动施加很多草绘约束。例如，如果绘制一条接近水平的直线，则 Inspire 会自动为该直线创建水平约束，使其准确处于水平位置上。修改草绘时，这些约束可保证草绘实体间预定关系保持不变。

当处于草绘模式下时，右击一条曲线并从右键菜单选择一项约束，即可施加草绘约束。右击曲线连接点也可创建一些约束。

下列草绘约束均可供使用，但其中一些仅适用于某些特定类型的曲线。如果某种约束无法被施加到所选几何体上，则其在右键菜单中会显示为灰色。某些情况下，施加某些约束可能使几何体所受约束过多，此时即会弹出一条错误消息。

2. 施加草绘约束

1）固定。固定用于约束草绘的点、直线或曲线，使其相对于相邻曲线保持位置固定。对象本身在 3D 空间中不是固定的，但仍可以通过单击和拖曳来移动该对象。点、线、圆和弧都可以进行固定。不过，矩形的边是独立的对象，可以单独进行固定。

① 右击所需的点、线或曲线，打开右键菜单，如图 4-62 所示。

② 选择固定图标。

2）水平。水平用于使线段与草绘平面之间保持水平。

① 右击线段打开右键菜单，如图 4-63 所示。

② 选择水平图标，如图 4-64 所示。

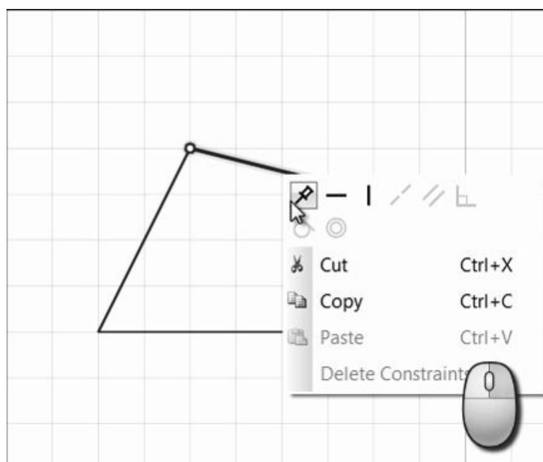


图 4-62

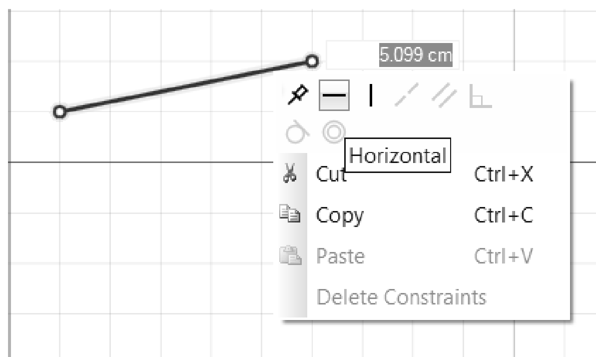


图 4-63

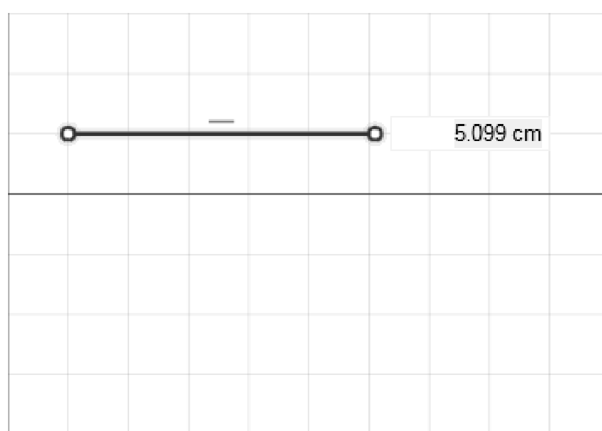


图 4-64

3）竖直。竖直用于使线段与草绘平面之间保持竖直。

① 右击线段，打开右键菜单，如图 4-65 所示。

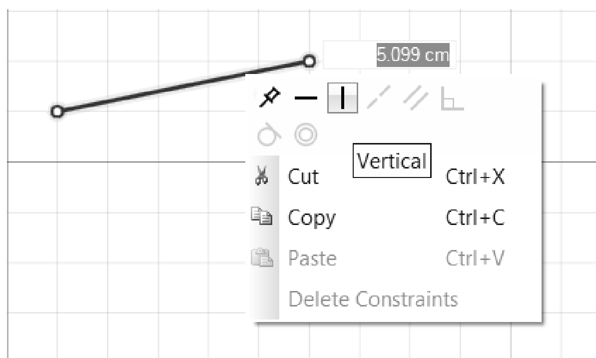


图 4-65

② 选择竖直图标，如图 4-66 所示。

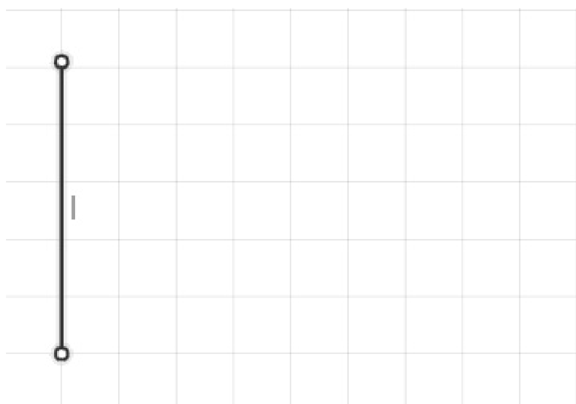


图 4-66

4）共线。共线用于对齐两条或多条线段。

① 按住〈Ctrl〉键选择多条线段。

② 右击一条选中的线段，打开右键菜单，如图 4-67 所示。

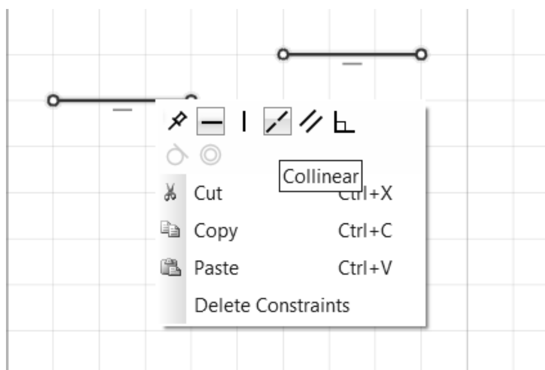


图 4-67

③ 选择共线图标，如图 4-68 所示。

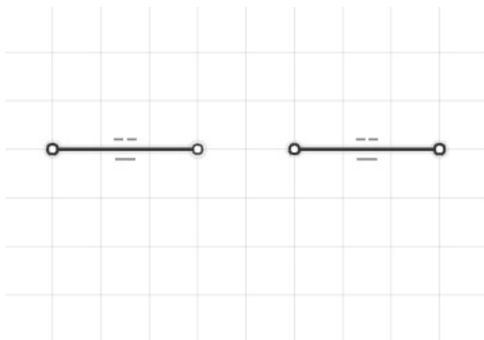


图 4-68

5）平行。平行用于使两条线段保持平行。

① 按住〈Ctrl〉键选择多条线段。

② 右击一条选中的线段，打开右键菜单，如图 4-69 所示。

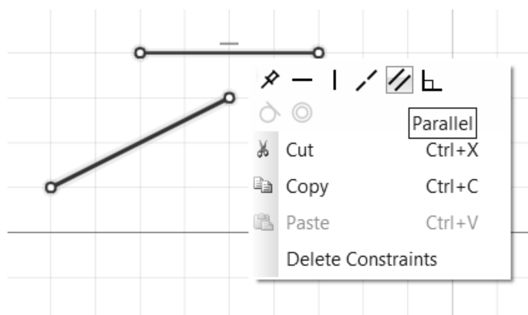


图 4-69

③ 选择平行图标，如图 4-70 所示。

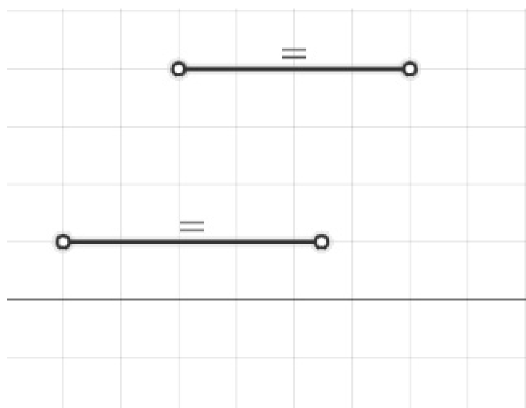


图 4-70

6）垂直。垂直用于使两条线段保持垂直。

① 按住〈Ctrl〉键选择多条线段。

② 右击一条选中的线段，打开右键菜单，如图 4-71 所示。

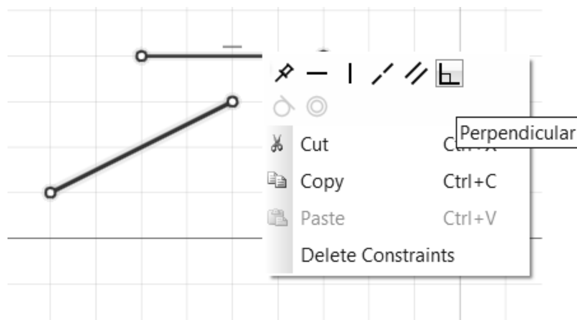


图 4-71

③ 选择垂直图标，如图 4-72 所示。

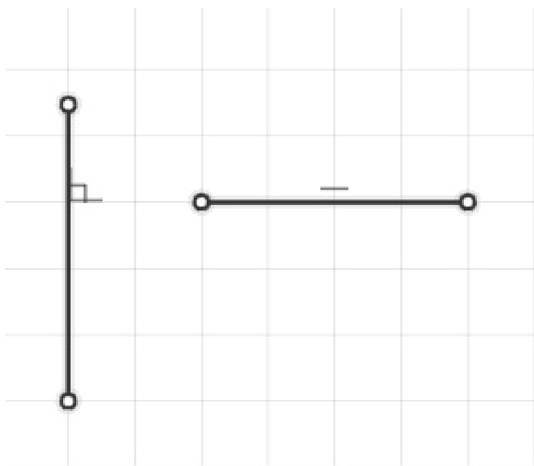


图 4-72

7）相切。相切用于使线段与弧保持相切。

① 按住〈Ctrl〉键选择直线和圆弧。

② 右击直线或圆弧打开右键菜单，如图 4-73 所示。

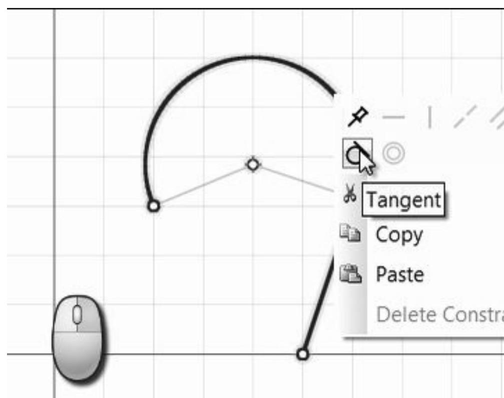


图 4-73

③ 选择相切图标。

8）共轴。共轴用于使两个或多个圆保持同一圆心。

① 按住〈Ctrl〉键来选择多个圆。

② 右击一个选定的圆，打开右键菜单，如图 4-74 所示。

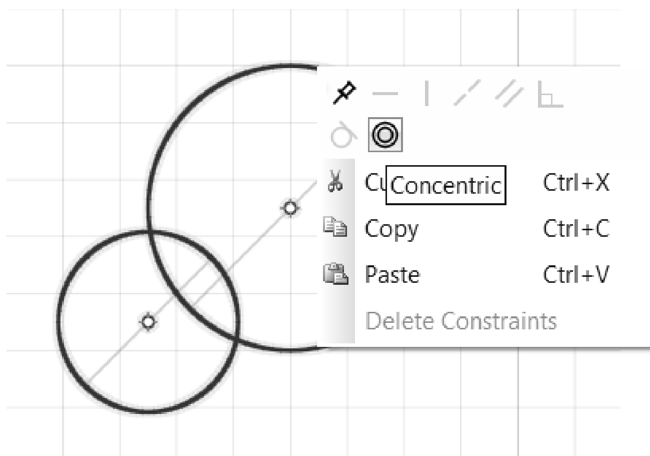


图 4-74

③ 选择共轴图标，如图 4-75 所示。

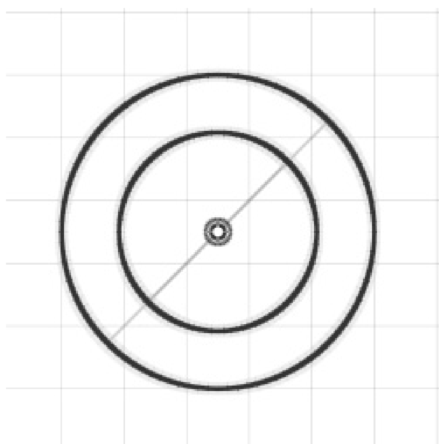


图 4-75

3. 删除草绘约束

某些草绘实体在创建时会自动施加草绘约束（如矩形就有水平、竖直和垂直草绘约束），删除这些草绘约束即可更加自由地创建具有自由形状的对象。

1）右击所需的草绘点、直线或曲线打开右键菜单。要从多个对象中删除草绘约束，首先按〈Ctrl〉键将其选中。

2）然后从右键菜单中选择删除约束即可。

第 5 章

探索多种载荷工况



在实际工程中，零件或装配体需要满足不同的工况需要，这些工况所需的最优结构外形，既有相似之处，又可能有很大的不同。Inspire 允许用户定义多个工况，同时分析权衡，最终给出一种满足所有工况的最优结构外形。

本章要点如下：

- **分别在 x、y 和 z 方向上创建带有单位载荷的多载荷工况**。
- **创建力和固定约束**。
- **施加对称平面**。
- **施加单向拔模方向**。
- **运行优化**。
- **探索优化后的形状**。

5.1 打开 Y-bracket 模型

1）打开 Inspire。

2）单击文件图标中的打开模型。

3）在打开文件窗口中，选择 Tutorials 文件夹。

4）选择文件 y-bracket.stmod 并单击打开，如图 5-1 所示。

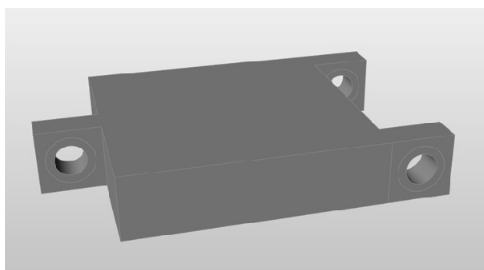


图 5-1

5）单击模型视窗右下角的单位系统选择器，将默认单位系统设置为 SI (m kg N Pa)，如图 5-2 所示。

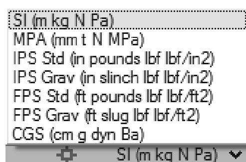


图 5-2

5.2 定义设计空间

1）如果模型不可见，则按〈F2〉键打开模型浏览器。

2）y-bracket 文件夹中列出了两个零件：Boss 和 Bracket。单击模型浏览器中的 Boss 将其选中，Bracket 中 3 个圆柱形的孔变为黄色，如图 5-3 所示。如果要对 Boss 材料施加载荷和固定约束，同时又不想在优化过程中从该零件中移除任何材料，则不应将其纳入设计空间。

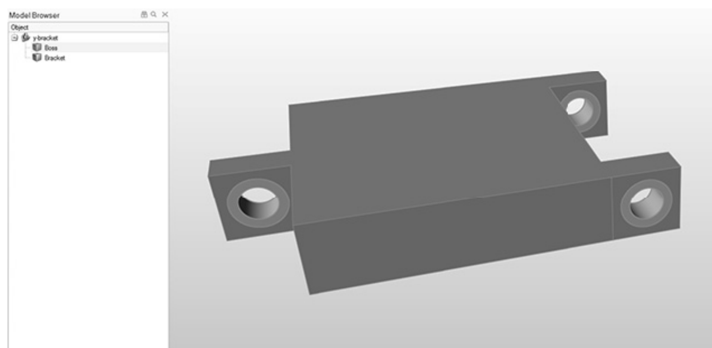


图 5-3

3）在 y-bracket 文件夹中，右键单击 Bracket 并选择 Design Space，如图 5-4 所示。

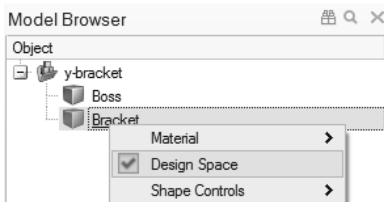


图 5-4

4）在模型视窗中，单击任意空白处，此时优化过程中将要被剔除的材料会显示为暗红色，如图 5-5 所示。

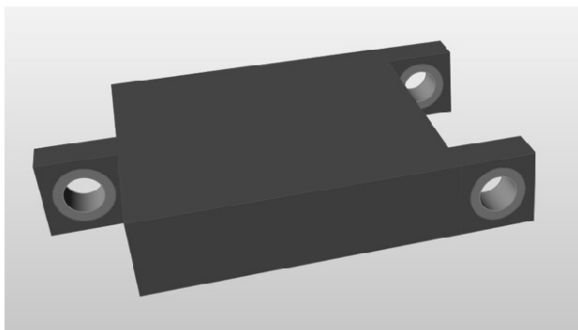


图 5-5

5.3 创建一个中心孔约束和第一个载荷工况

1）单击功能区的“结构仿真”菜单。

2）选中载荷图标中的施加约束工具。

3）单击 Boss 材料前部施加约束，如图 5-6 所示。

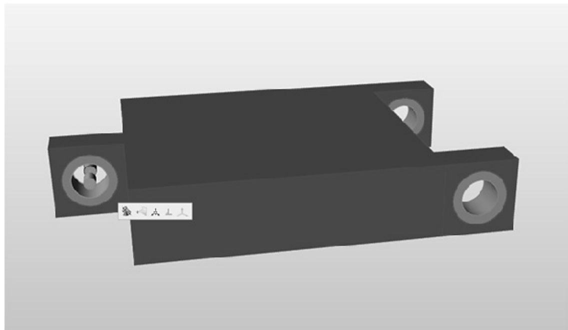


图 5-6

4）在模型浏览器中创建了两个文件夹：Load Case 1 和 All Loads and Displacements，如图 5-7 所示。两个文件夹中都添加了 Support 1。

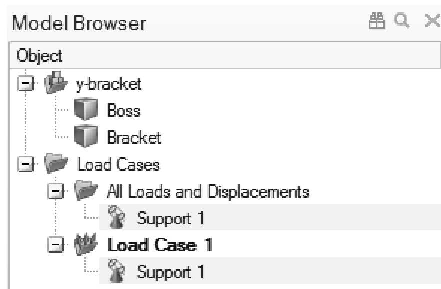


图 5-7

5）双击 Load Case 1，将其重命名为 Load Case X，按〈Enter〉键。重命名后的载荷工况名称呈粗体，表明其为当前载荷工况，如图 5-8 所示。所有新建载荷或约束都将被添加到该载荷工况中。

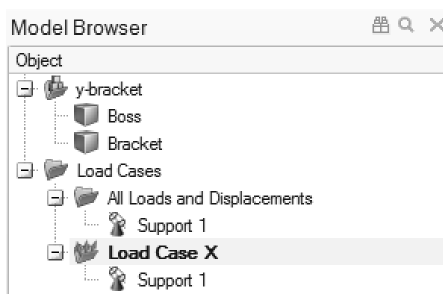


图 5-8

5.4　施加力到 Boss 材料

1）从结构仿真功能区中的载荷图标中选择施加力工具。

2）单击 Boss 材料后部的一部分以施加力，如图 5-9 所示。

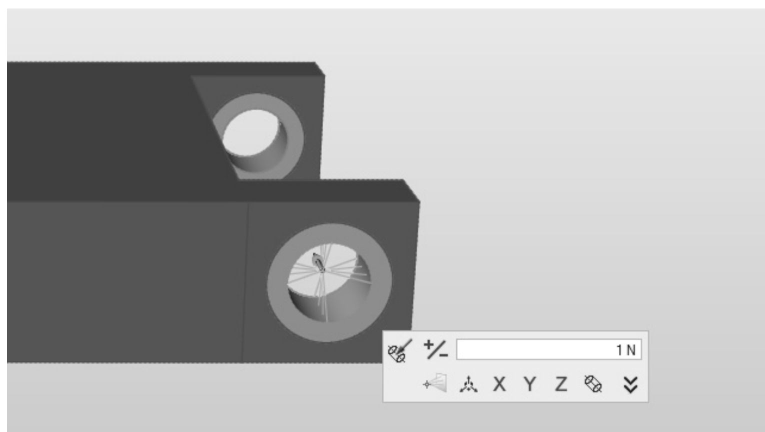


图 5-9

3）这个力最初会被施加到 x 轴的负方向上。在小对话框中单击 +/- 图标，将施力方向反转到 x 轴的正方向上，如图 5-10 所示。

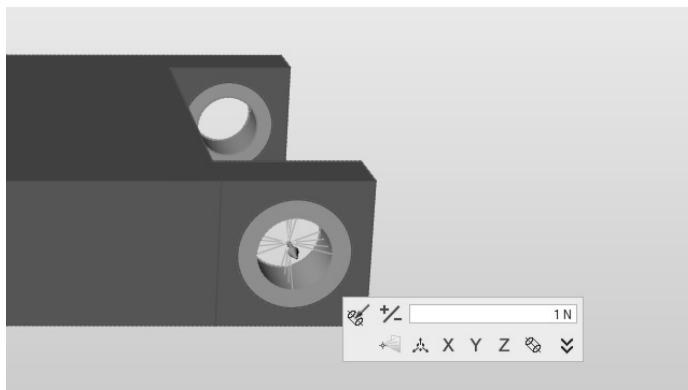


图 5-10

4）Force 1 同时出现在模型浏览器中的 All Loads and Displacements 文件夹和 Load Case X 文件夹中，如图 5-11 所示。

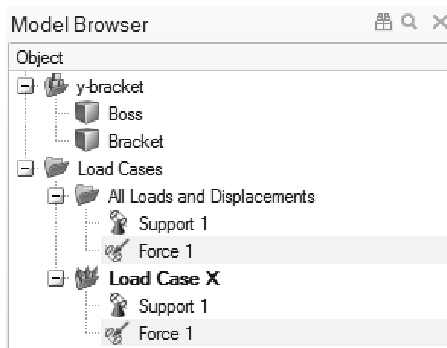


图 5-11

5）当施加力工具仍处于激活状态时，单击 Boss 材料后部的另一部分，然后单击+/-图标反转方向，此时 Force 1 和 Force 2 都被施加在 x 轴的正方向上，如图 5-12 所示。

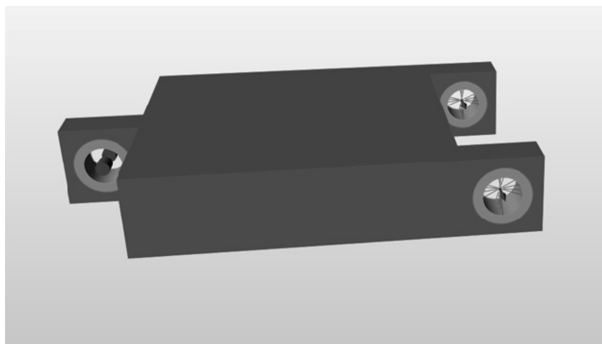


图 5-12

6）Force 2 同时出现在模型浏览器中的 All Loads and Displacements 文件夹和 Load Case X 文件夹中，如图 5-13 所示。

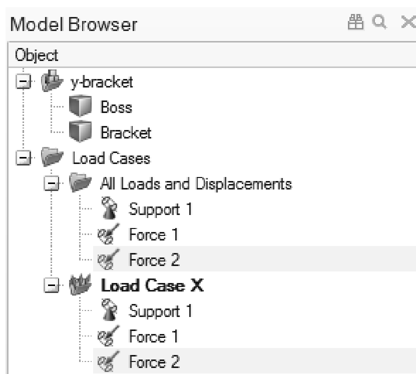


图 5-13

7）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出工具。

5.5 利用右键菜单创建第二个载荷工况

1）在模型浏览器中，右键单击 Load Case X 并选择 New→Load Case 命令，如图 5-14 所示。

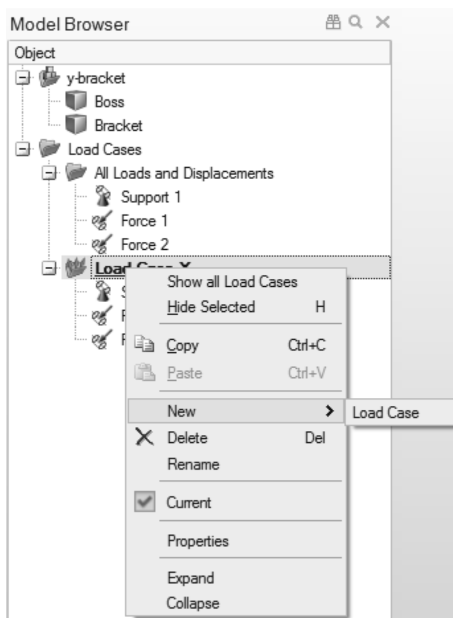


图 5-14

2）此时，一个新载荷工况即会被添加到模型浏览器中，将其重命名为 Load Case Y 并按〈Enter〉键确认，该工况即为当前载荷工况，如图 5-15 所示。

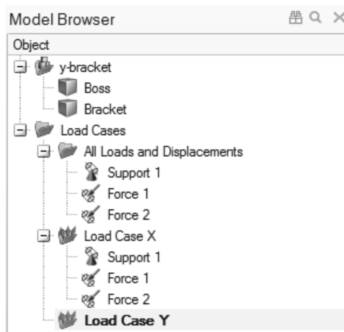


图 5-15

3）如果要在 Load Case X 和 Load Case Y 中使用同一个固定约束，则在模型浏览器中的 All Loads and Displacements 中右击 Support 1 并选择 Include/Exclude from→Load Case Y，如图 5-16 所示。

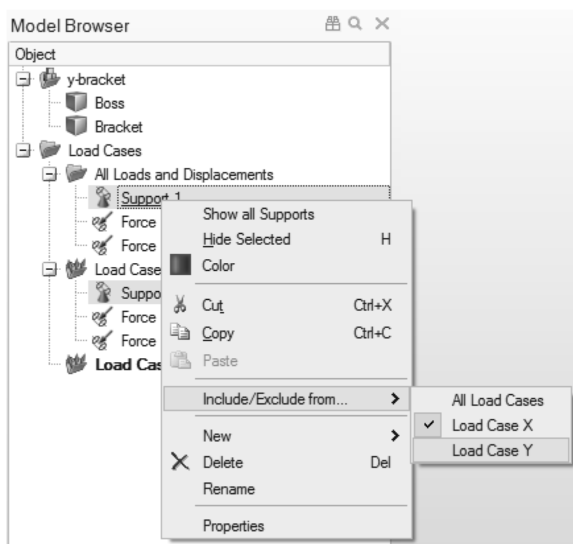


图 5-16

4）Support 1 即被添加到模型浏览器中的 Load Case Y 中，如图 5-17 所示。

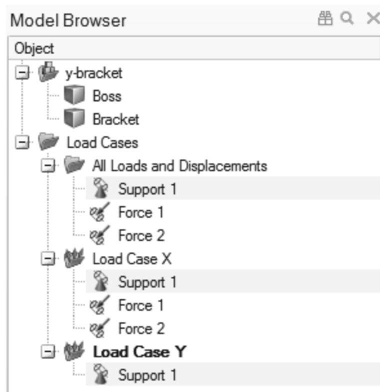


图 5-17

5）在模型浏览器中单击 Force 1 和 Force 2 左侧的小图标，暂时隐藏这些力，如图 5-18 所示。

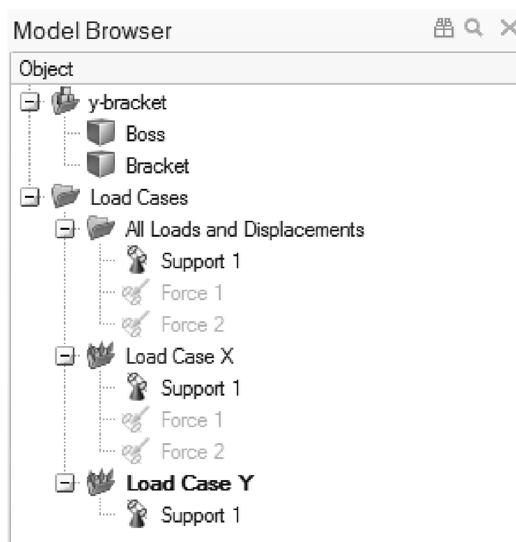


图 5-18

6）从结构仿真功能区中的载荷图标上选择施加力工具。

7）增加两个新的力，沿 y 轴负方向分别施加在 Boss 材料的后部两侧，如图 5-19 所示。

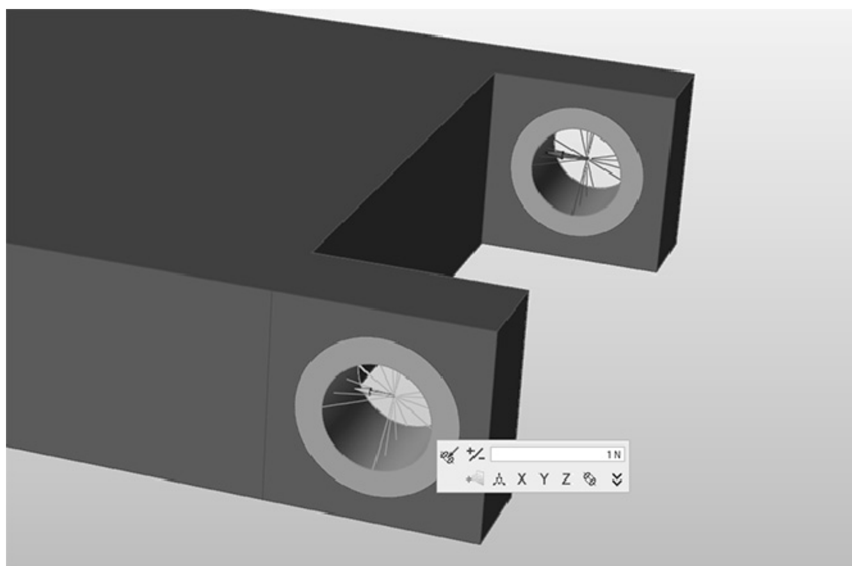


图 5-19

8）Force 3 和 Force 4 即会被添加到模型浏览器中的 Load Case Y 中，如图 5-20 所示。

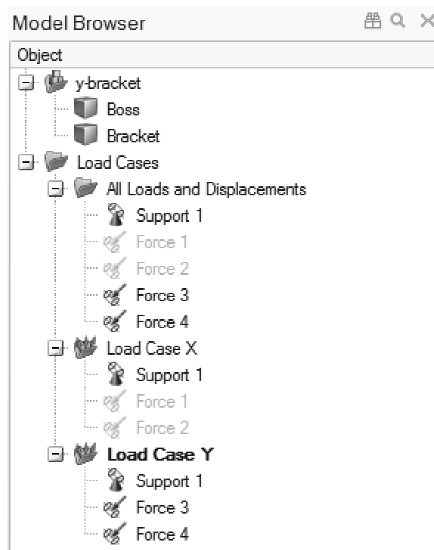


图 5-20

9）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出工具。

5.6 通过单击并拖动创建第三个载荷工况

1）在模型浏览器中，右键单击 Load Case Y 并选择 New→Load Case，如图 5-21 所示。

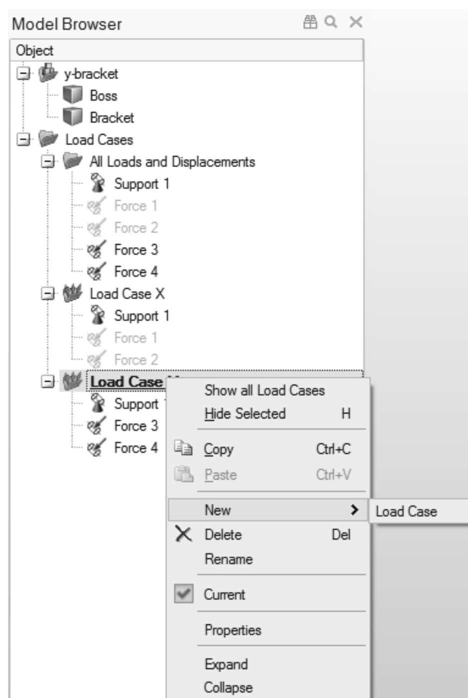


图 5-21

2）将其重命名为 Load Case Z 并按〈Enter〉键确认，该工况即为当前载荷工况，如图 5-22 所示。

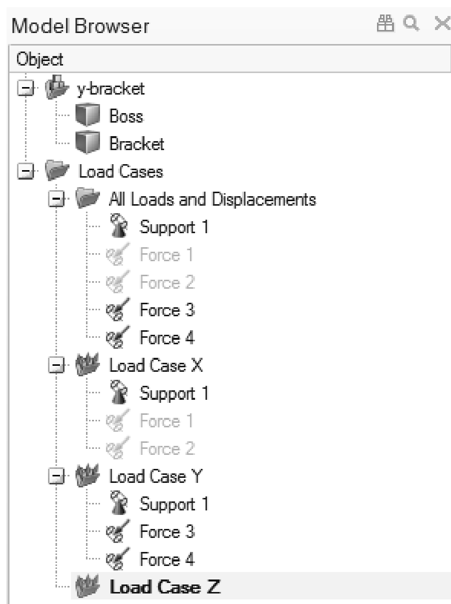


图 5-22

3）在模型浏览器中的 All Loads and Displacements 文件夹中，单击 Support 1 并将其拖到 Load Case Z 中，如图 5-23 所示。

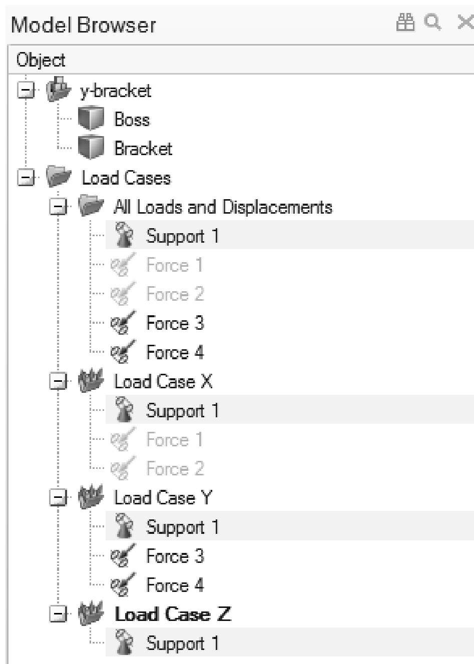


图 5-23

4）在模型浏览器中单击 Force 3 和 Force 4 左侧的小图标，暂时隐藏这些力，如图 5-24 所示。

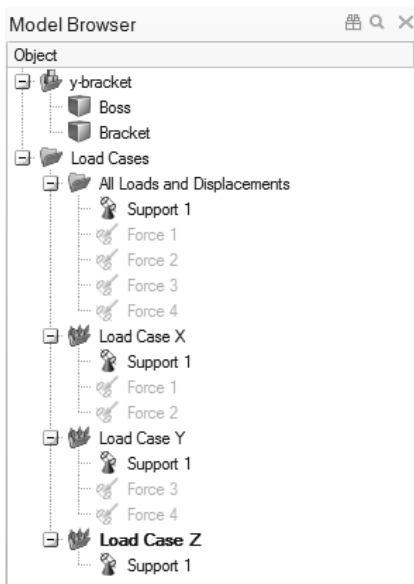


图 5-24

5）从结构仿真功能区中的载荷图标上选择施加力工具，如图 5-25 所示。



图 5-25

6）增加两个新的力，沿 z 轴正方向分别施加在 Boss 材料的后部两侧，如图 5-26 所示。

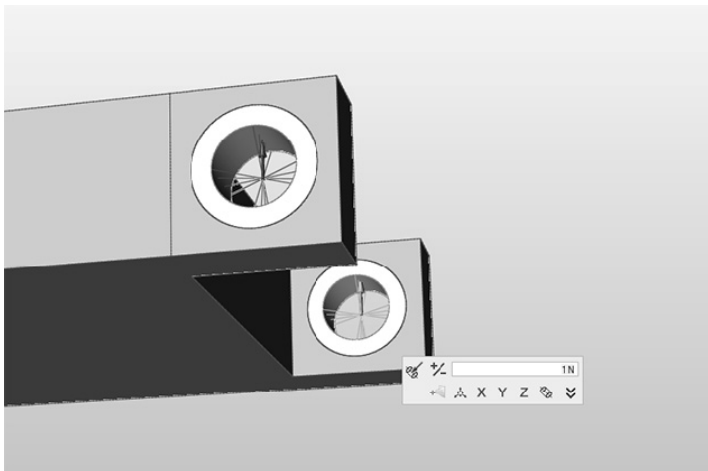


图 5-26

7）Force 5 和 Force 6 即会被添加到模型浏览器中的 Load Case Z 中，如图 5–27 所示。

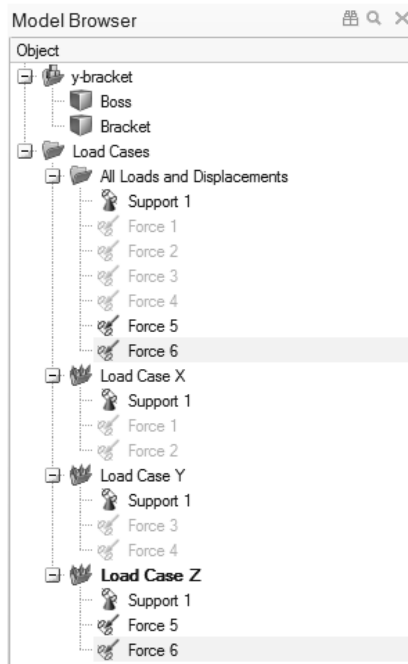


图 5–27

8）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出工具。

9）在模型浏览器中用鼠标右键单击一个力，然后在右键菜单中选择 Show all Forces，如图 5–28 所示。

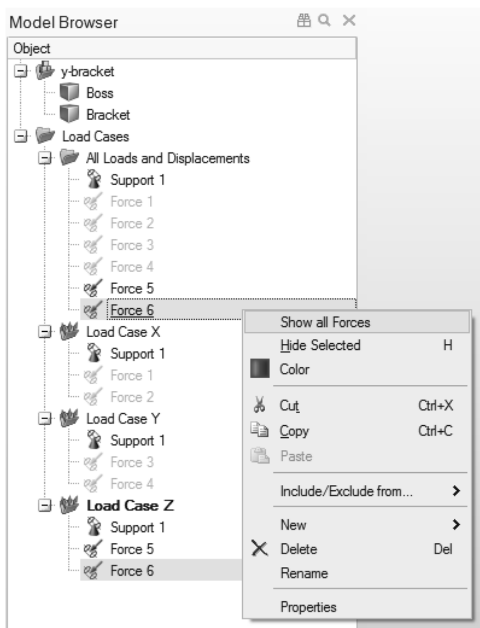


图 5–28

5.7 施加对称平面

1）在结构仿真功能区中的形状控制图标上选择对称工具。

2）从二级功能区中选择对称的工具。

3）单击模型视窗中的 Bracket 将其选中，此时出现 3 个红色的对称平面，如图 5-29 所示。

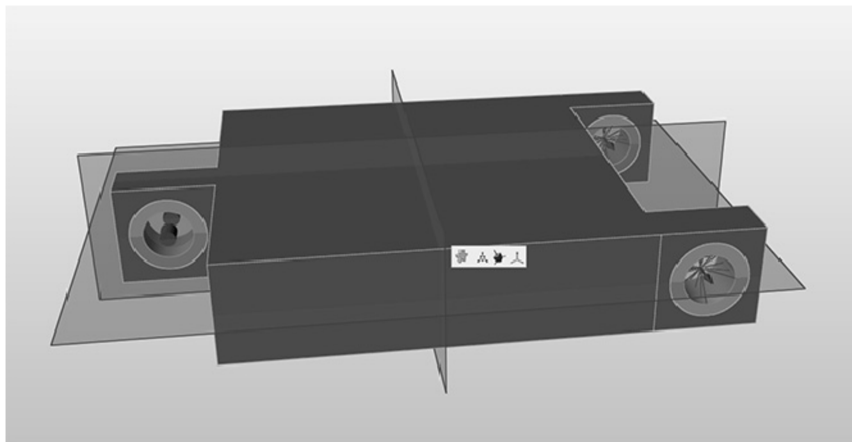


图 5-29

4）Shape Control 1 被添加到模型浏览器中的 Shape Controls 文件夹中，如图 5-30 所示。

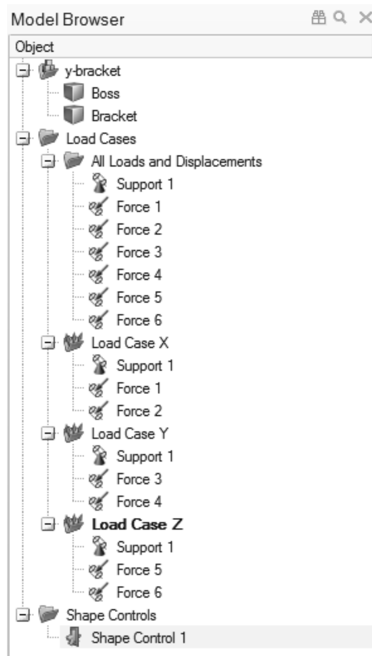


图 5-30

5）如图 5-31 所示，单击以取消选定相应的平面，该平面即变为灰色。

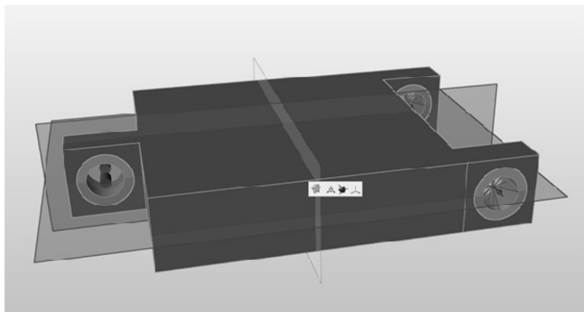


图 5-31

6）单击鼠标右键按〈Esc〉键退出工具，如图 5-32 所示。

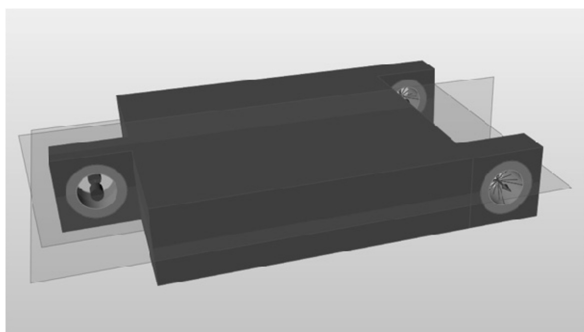


图 5-32

5.8　施加单向拔模方向

1）在结构仿真功能区中的形状控制图标上选择拔模方向工具。

2）选中二级功能区中的双向拔模工具。

3）单击模型视窗中的 Bracket 将其选中，此时出现 3 个平面，其中的蓝色平面代表当前选择的分离面，如图 5-33 所示。

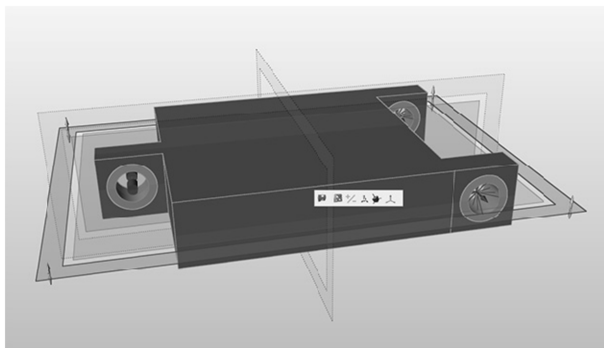


图 5-33

4）Draw 1 被添加到模型浏览器中的 Shape Controls 文件夹中，如图 5-34 所示。

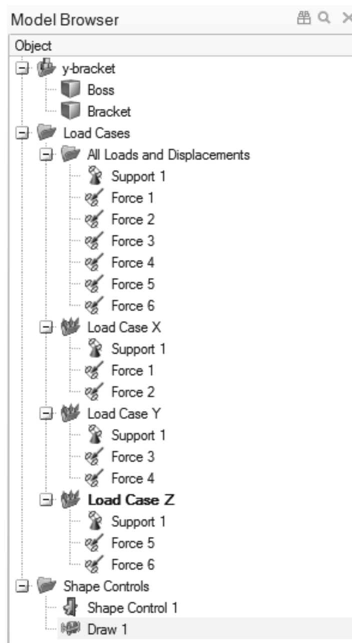


图 5-34

5）单击鼠标右键按〈Esc〉键退出工具。

5.9 运行优化

1）单击优化图标组中的运行优化图标▶，打开运行优化窗口，如图 5-35 所示。

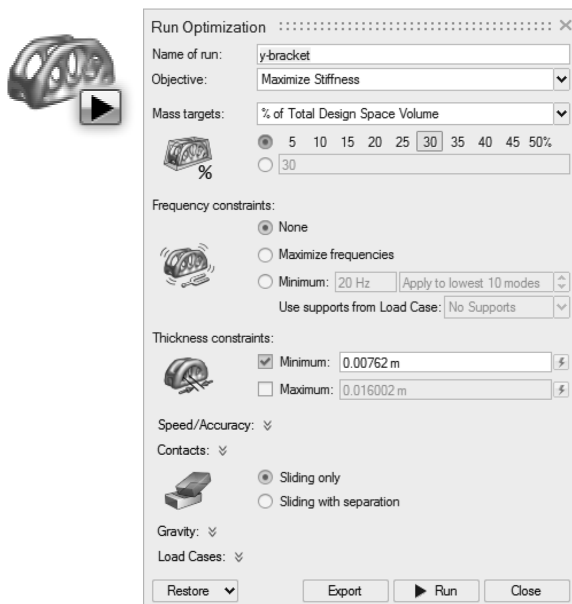


图 5-35

2）选择最大化刚度作为优化目标。

3）在 Mass targets 下拉列表中选择% of Total Design Space Volume，然后选中 30，如图 5-36 所示。



图 5-36

4）在厚度约束中，将最小增加至 0.015 m，这样会加快优化速度，如图 5-37 所示。

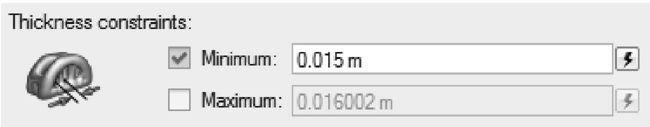


图 5-37

5）在载荷工况中，取消选中 Load Case Y 和 Load Case Z，如图 5-38 所示。这时运行优化，则只运行 Load Case X 下的结果。

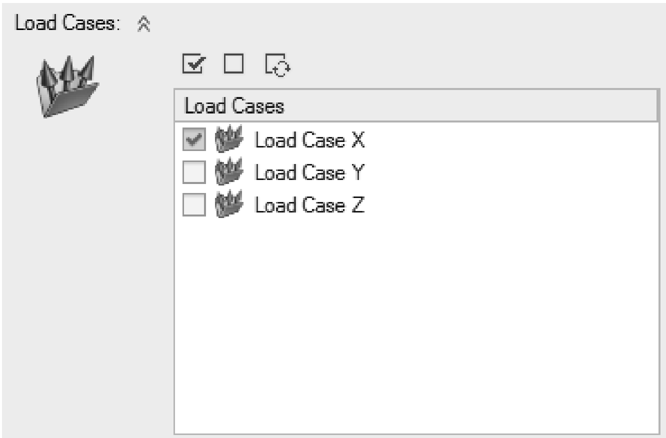


图 5-38

6）单击 Run 按钮，弹出运行状态窗口，如图 5-39 所示。优化完成后会出现一个绿色勾选标记。

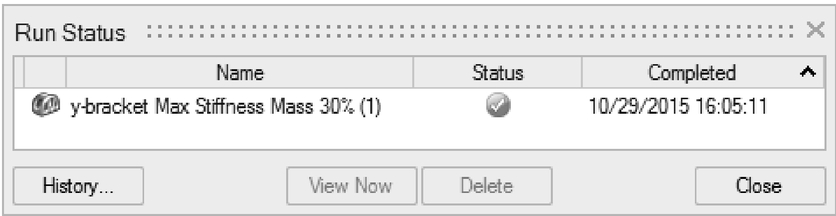


图 5-39

7）双击运行的名称查看结果。优化后的形状显示在模型视窗中，同时作为一个备选被列在形状探索器中，如图 5-40 所示。

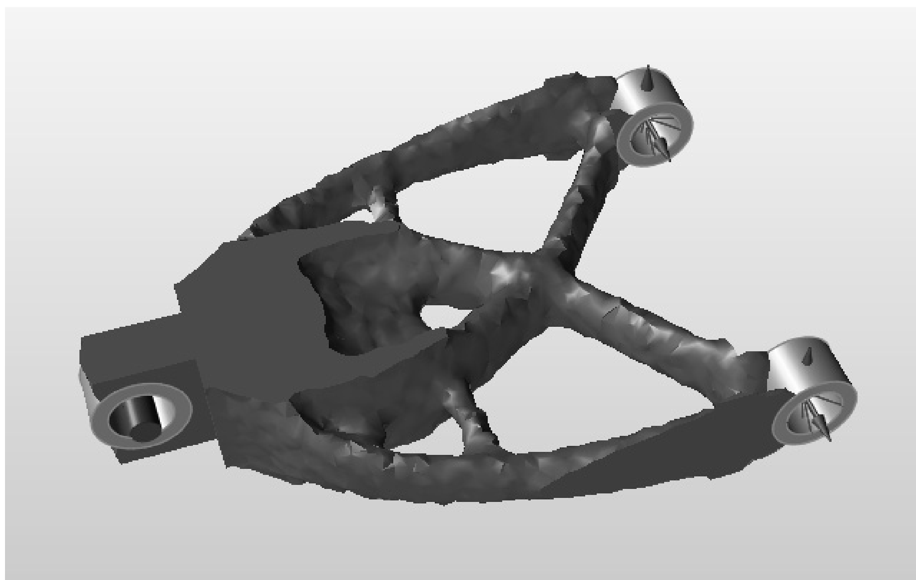


图 5-40

8）重复上述流程，在 Load Case Y 下运行优化，如图 5-41 所示。

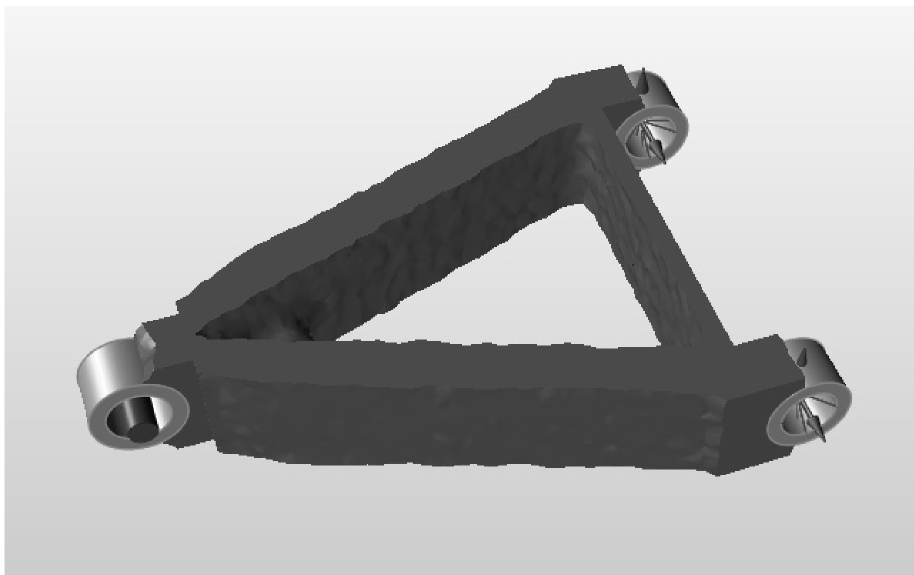


图 5-41

9）重复上述流程，在 Load Case Z 下运行优化，如图 5-42 所示。

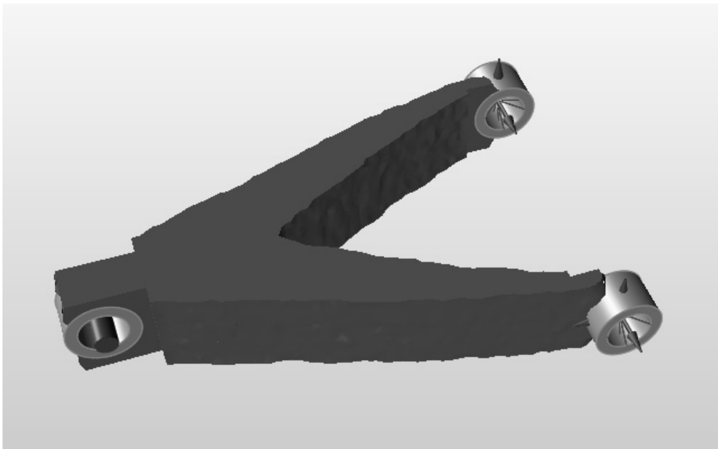


图 5-42

10）Load Case Y 和 Load Case Z 下的优化运行即作为其他备选显示在模型浏览器和形状探索器中，如图 5-43 所示。

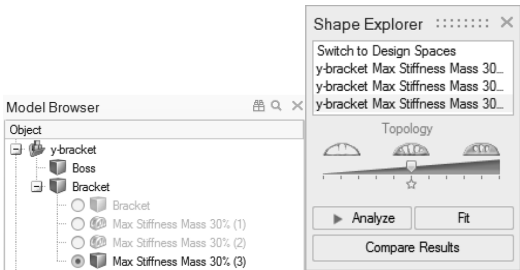


图 5-43

5.10　探索优化后的形状

1）在同时使用 3 种载荷工况的情况下再次运行优化。单击运行优化图标▶，打开运行优化窗口并选择 3 种载荷工况，如图 5-44 所示。

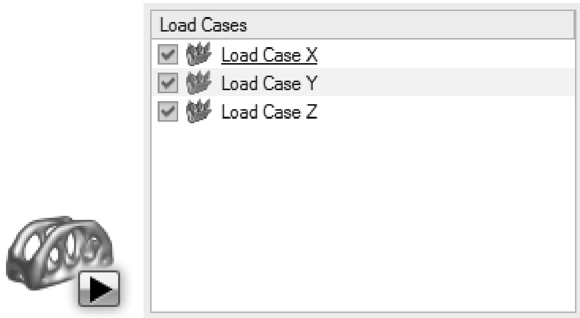


图 5-44

2）将质量目标更改为设计空间总体积的 20%，如图 5-45 所示。

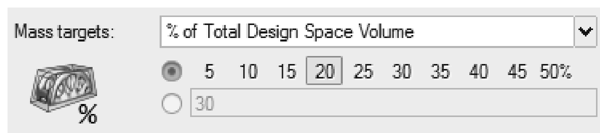


图 5-45

3）单击 Run 按钮，弹出运行状态窗口。

4）单击 Close 按钮。优化完成后，优化图标组上会出现一面绿色旗帜，表明运行成功完成。

5）单击绿色旗帜，显示优化形状，如图 5-46 所示。

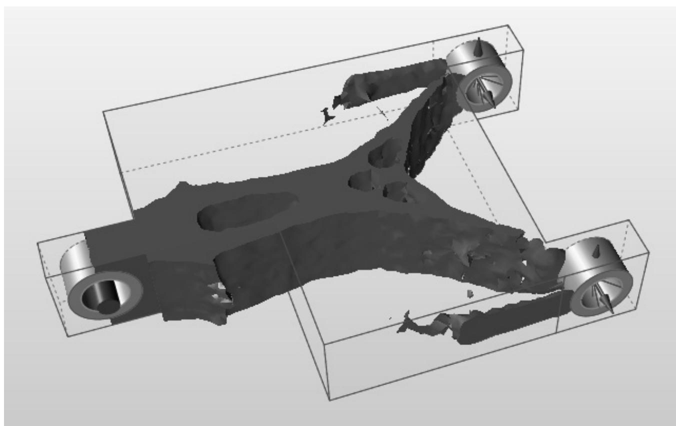


图 5-46

6）拖动形状探索器中的拓扑滑块，探索优化后的形状，如图 5-47 所示。改变拓扑即会增加或减少材料的使用，以此来说明该操作是如何对形状施加影响的。注意：当向右拖曳滑块时，将会出现另外的结构，这表明应使用更高的材料百分比重新运行优化。

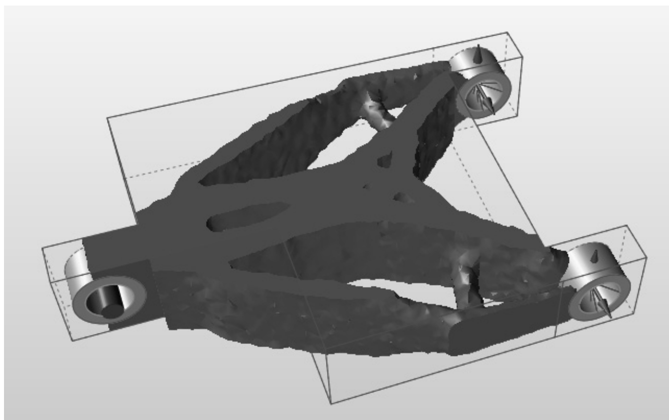


图 5-47

7）单击运行优化图标▶，打开运行优化窗口。

8）在质量目标中，将设计空间总体积的%更改为 30%，如图 5-48 所示。



图 5-48

9）单击 Run 按钮，优化完成后，单击绿色旗帜即可查看优化后的形状。

10）此时所得结果如图 5-49 所示。

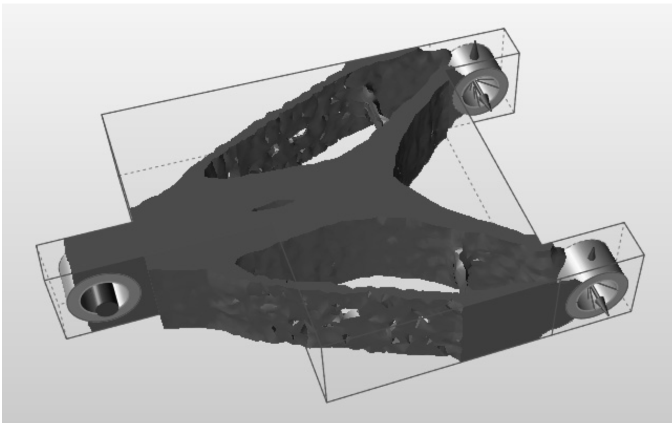


图 5-49

5.11 改变设计空间，重新运行优化

1）选中形状探索器中的转换到设计空间，以转换回到初始设计空间，如图 5-50 所示。

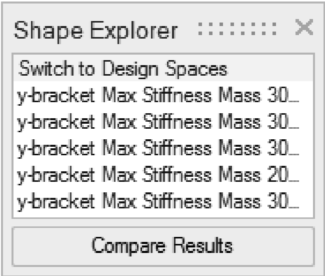


图 5-50

2）选择推/拉面工具。

3）右击并拖曳模型，使其重新调整至如图 5-51 所示的位置，然后单击模型右前面，并将其向内推进 0.07 m，使设计空间处于不对称状态。

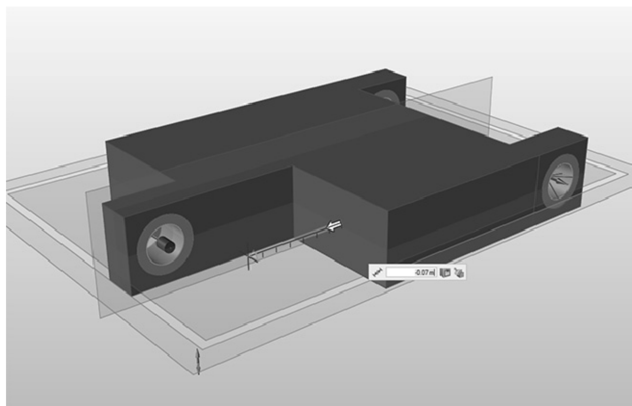


图 5-51

4）再次右击并拖曳模型，使其重新调整至如图 5-52 所示的位置，然后单击模型后面，并且将其向内推进 0.03 m。

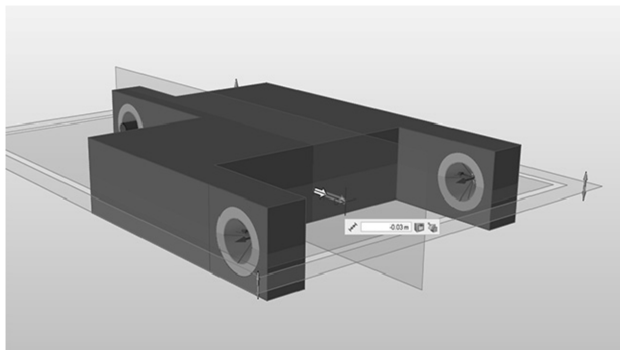


图 5-52

5）右键单击或按〈Esc〉键退出推/拉面工具。

6）右击并拖曳模型，使其重新调整至如图 5-53 所示的位置，然后双击其中一个红色对称平面激活对称工具。

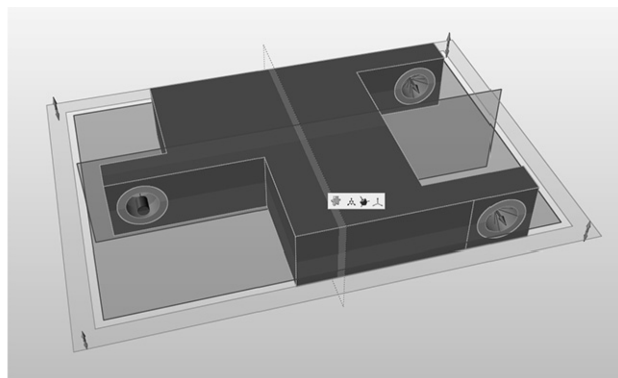


图 5-53

7）单击 z 方向的红色平面，取消其激活状态，如图 5-54 所示。

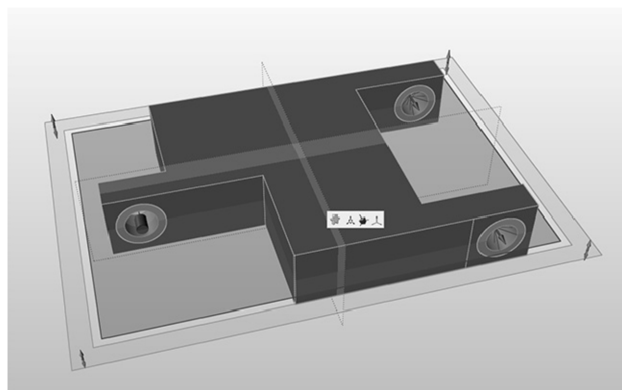


图 5-54

8）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出工具，如图 5-55 所示。

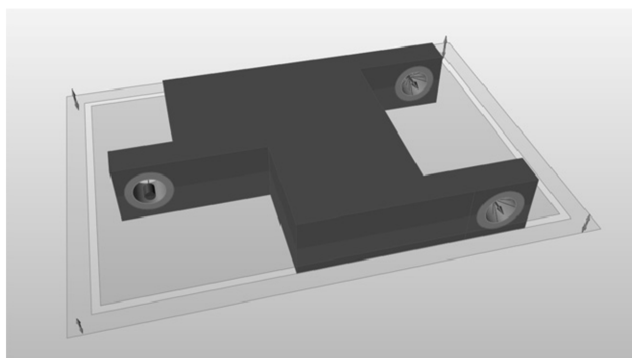


图 5-55

9）在使用所有 3 个载荷工况和一个质量目标的情况下重新运行优化，并将设计空间总体积的 % 调整为 30%，此时所得结果如图 5-56 所示。



图 5-56

10）调整形状探索器上的拓扑滑块，探索优化后的形状。

5.12 扩展阅读

1. 拔模方向

使用拔模方向工具施加制造约束。这些工具可通过结构仿真功能区的形状控制图标打开。

拔模方向是一种形状控制类型。如果需要通过铸造和冲压来制造零件，则优化后的形状必须在零件成形后能够让两个半模或冲压模顺利分开。此外，还必须避免负的拔模角度。通过指定拔模方向，也就是将两个半模分离的平面，即可生成用于铸造和冲压的形状。

每个设计空间中只能施加一个拔模方向，共有 4 种拔模方向可供选择：单向拔模、双向拔模、挤出和冲压。施加拔模方向后，还可以从迷你工具栏中选择无孔选项，以避免内部形成孔洞。拔模方向对优化有效，而对分析无效。

单击下方的蓝色链接，可以查看有关每个工具的详细信息，还可以从零件右键菜单中施加冲压约束。

1）单向拔模是制造约束的一种类型，当两个半模之间的分离面处于设计空间外部时，可施加单向拔模。

2）双向拔模是制造约束的一种类型，当两个半模之间的分离面处于设计空间内部时，可施加双向拔模。

3）挤出类似于单向拔模约束，但产生的形状的轮廓会保留一个与拔模方向同向的等截面。

4）冲压不出现在工具栏上。冲压是制造约束的一种，可以从零件的右键菜单中施加，如图 5-57 所示。

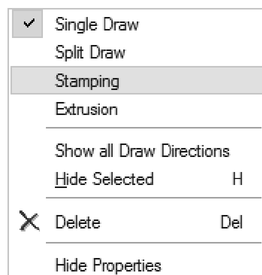


图 5-57

当制造过程使用冲压而不是铸造时，则应施加此种约束。当在设计空间进行冲压约束后，优化器会计算得到一个均厚的结果，同时应避免负的拔模角度和内部空洞。

施加冲压约束后，还可以从小对话框中选择无孔选项，以避免内部形成空洞。冲压约束仅对优化有效，而对分析无效。

（1）使用右键菜单施加冲压约束

① 在模型视窗或模型浏览器中右键单击一个设计空间。

② 从右键菜单中选择形状控制→冲压。

③ 在所选设计空间中即会出现一个蓝色矩形，以表明冲压约束的激活面。

④ 用鼠标右键单击或按两次〈Esc〉键退出右键菜单。

⑤ 双击模型视窗中的冲压约束进入编辑模式，此时弹出一个小对话框（见图 5-58）和三个正交的平面，已激活的平面显示为蓝色，通过单击其他平面即可更改激活平面。



图 5-58

- 要在优化后的零件上施加无孔约束，可单击小对话框中的无孔按钮。
- 要更改拔模方向，则可单击小对话框上的按钮，被激活平面各角上的冲压符号即会转向。

⑥ 用鼠标右键单击空白处或按〈Esc〉键退出工具。

（2）修改冲压约束

1）双击模型视窗中的冲压约束进入编辑模式，此时出现一个小对话框。

- 要更改激活的平面，可以单击需要激活的平面。激活的平面显示为蓝色。
- 要在优化后的设计空间上中施加无孔约束，可以单击小对话框中的无孔按钮。
- 要更改冲压约束的方向，可以单击小对话框上的按钮，被激活平面各角上的冲压符号即会转向。
- 要旋转冲压约束，可以单击小对话框上的按钮，此时移动工具出现在该约束的中心，通过该工具可以进行旋转。
- 要在移动后使冲压约束与设计空间对齐，可以单击小对话框上的对齐至零件按钮。默认情况下，冲压约束会根据其所适用的特定设计空间在空间中的方位来进行对齐。
- 要使冲压约束与全局坐标轴对齐，可以单击小对话框上的对齐至全局坐标系按钮。

2）用鼠标右键单击空白处或按〈Esc〉键退出工具。

（3）更改所施加的约束类型

1）在模型视窗中用鼠标右键单击该冲压约束。

2）从右键菜单中选择单向拔模、双向拔模、冲压或挤出。该冲压约束即立刻转换成所选择的类型。

另外，也可以使用小对话框更改类型：

① 双击要转换的冲压约束，弹出一个小对话框。

② 单击小对话框上最左边的图标，弹出拔模方向列表，如图 5-59 所示。

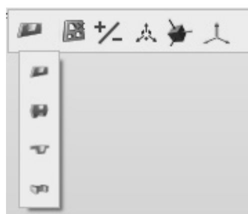


图 5-59

③ 单击要施加的拔模方向类型，该冲压约束就立刻转换成所选择的类型。

④ 用鼠标右键单击空白处或按〈Esc〉键退出工具。

2. 设计空间

需优化的零件如图 5-60 所示。

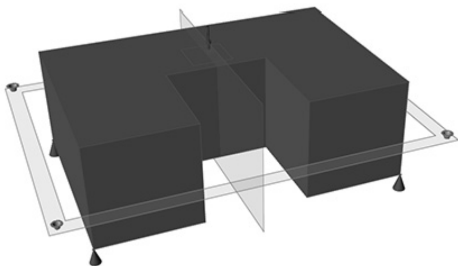


图 5-60

施加了冲压方向约束的优化形状，如图 5-61 所示。

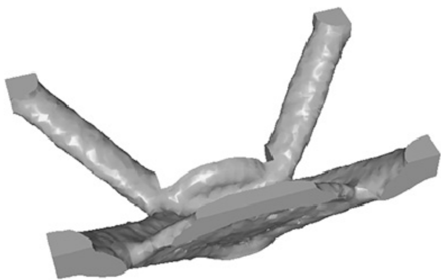


图 5-61

施加了冲压方向约束和无孔约束的优化形状，如图 5-62 所示。

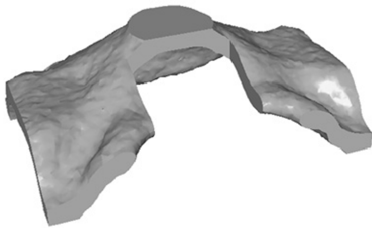


图 5-62

第 6 章

准备 CAD 几何模型



拓扑优化需要将模型分为设计空间与非设计空间，因此需要将模型进行预处理。本章将详细介绍在 Inspire 中处理分割模型的方法。

本章学习要点如下：

- **导入 CAD 模型**。
- **把一个零件打散成多个零件**。
- **复制参考几何**。
- **使用草绘工具追踪曲线**。
- **拉伸草绘曲线使其成为一个实体**。
- **使用布尔交集创建新零件**。
- **定义设计空间**。

6.1　导入 CAD 模型

1）打开 Inspire。

2）单击文件图标中的打开模型。

3）在打开文件窗口中，选择 Tutorials 文件夹。

4）选择文件 arm_straight.x_t 并打开，如图 6-1 所示。如果模型不可见，则按〈F2〉键打开模型浏览器。

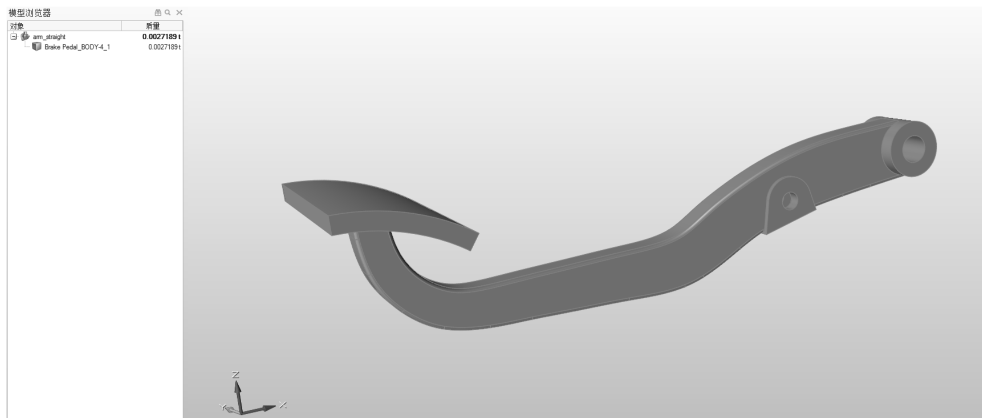


图 6-1

6.2　复制参考几何

1）使用鼠标右键调整视图，使模型位置调整至如图 6-2 所示。

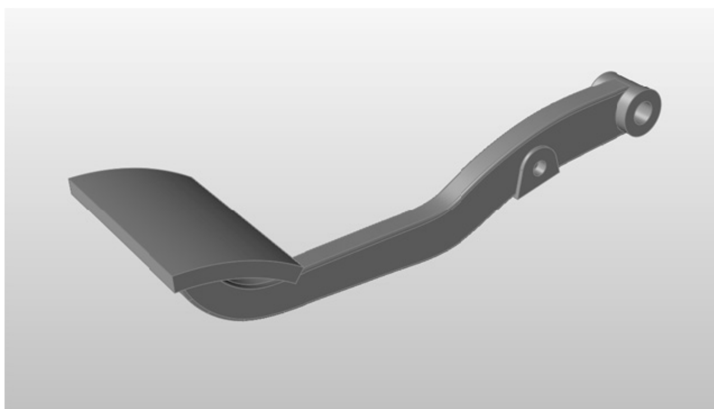


图 6-2

2）单击模型视窗左下角的 图标，切换至正射投影。

3）双击制动踏板侧面即可进入推/拉模式，然后再次双击进入草绘模式，此时即会创建

一个与所选面垂直的草绘平面，且所选面各边呈红色，如图 6-3 所示。

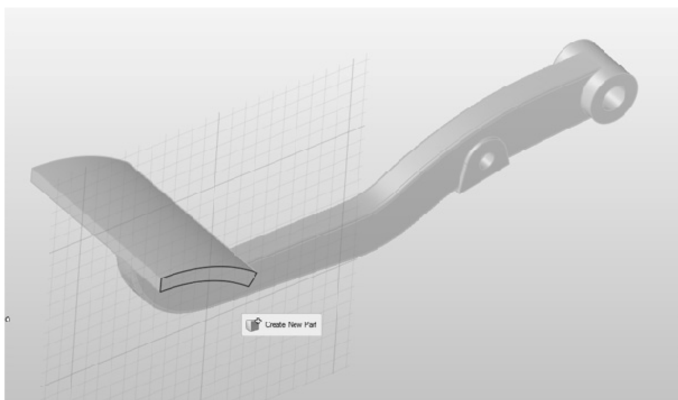


图 6-3

注意：红色参考线只可创建在制动踏板的侧面，因为这是唯一与草绘平面相交的面。

4）单击浮动的创建新零件图标 Create New Part，模型浏览器中即会出现一个新零件，将所要创建的草绘放置到该新零件中，如图 6-4 所示。

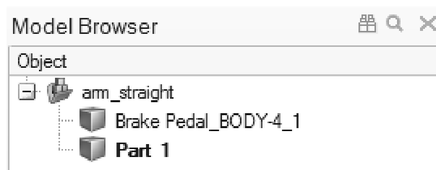


图 6-4

5）单击草绘工具栏中的复制参考几何图标，或者用鼠标右键单击一条红色的参考线并从右键菜单中选择根据所有参考线创建曲线，如图 6-5 所示。

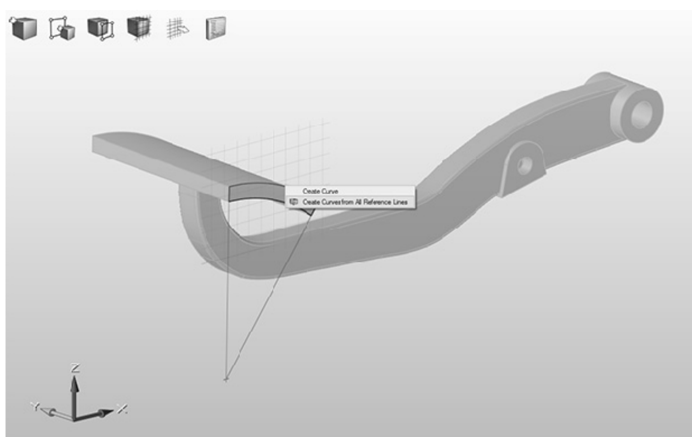


图 6-5

6）参考线即会被复制并显示为黑色，如图 6-6 所示。

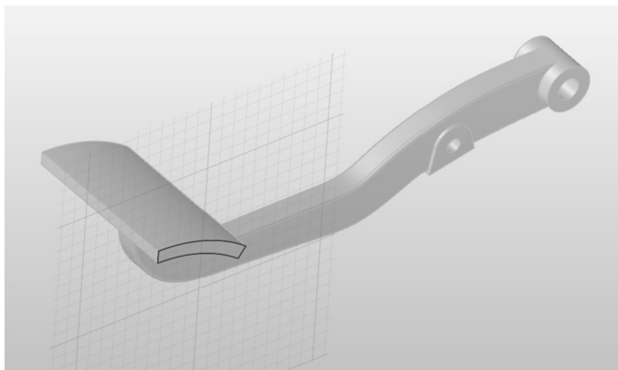


图 6-6

7）用鼠标右键单击或按〈Esc〉键退出草绘模式，进入推拉模式，如图 6-7 所示。

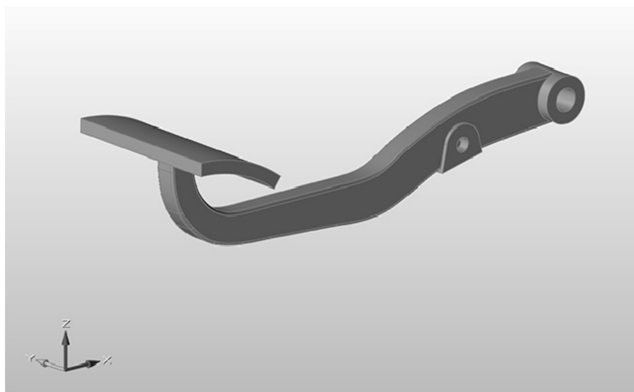


图 6-7

6.3 拉伸草绘曲线使其成为一个实体

1）单击模型浏览器中初始零件左侧的小立方体，即可在模型视窗中隐藏该零件，此时仅显示刚才草绘的新零件，如图 6-8 所示。

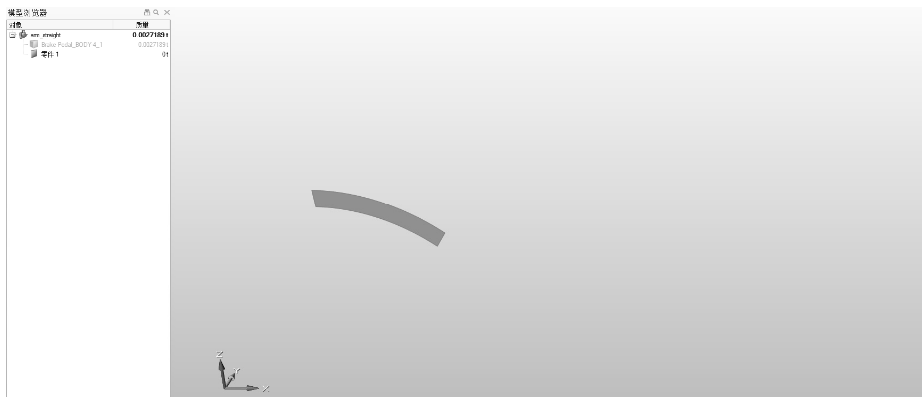


图 6-8

2）当处于推/拉模式时，单击并拖动该面，将其挤成一个脚踏板，拉伸该面直至越过初始模型脚踏板的远边，如图 6-9 所示。

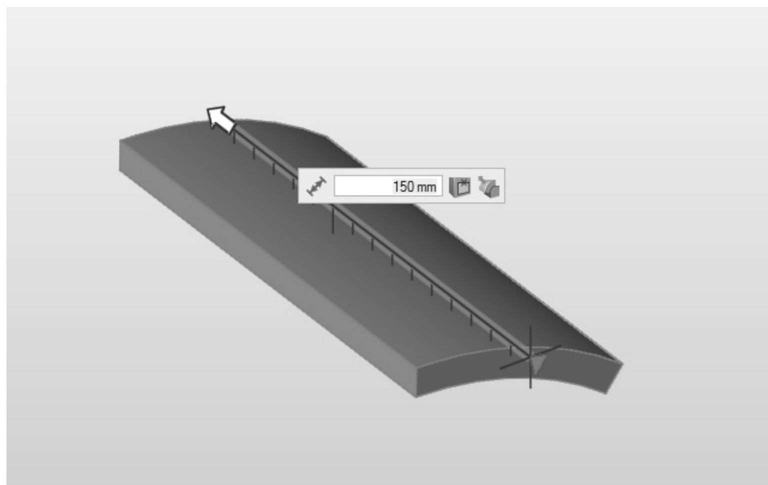


图 6-9

3）单击鼠标右键或按〈Esc〉键退出推/拉模式。

4）单击模型浏览器中初始零件左侧的小立方体，即可在模型视窗中重新显示该零件，然后单击鼠标左键取消选中所有对象，如图 6-10 所示。

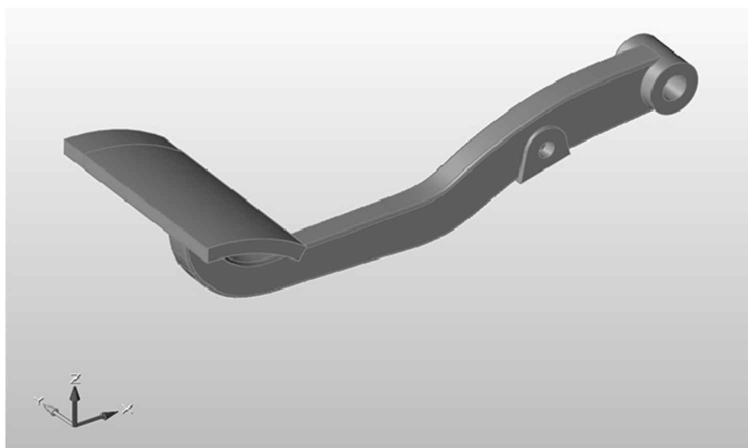


图 6-10

6.4　使用相交工具创建踏板

1）选择几何功能区的布尔运算工具。

2）从二级功能区中选择相交工具，弹出一个操作栏，且已选中目标。

3）在模型视窗中单击制动臂将其选中，如图 6-11 所示。

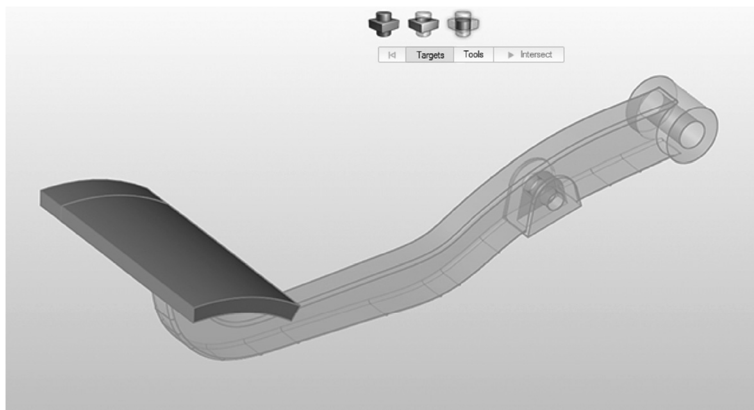


图 6-11

4）单击操作栏中的 Tools，如图 6-12 所示。



图 6-12

5）单击踏板（上一步骤中挤出的零件）将其选中，如图 6-13 所示。

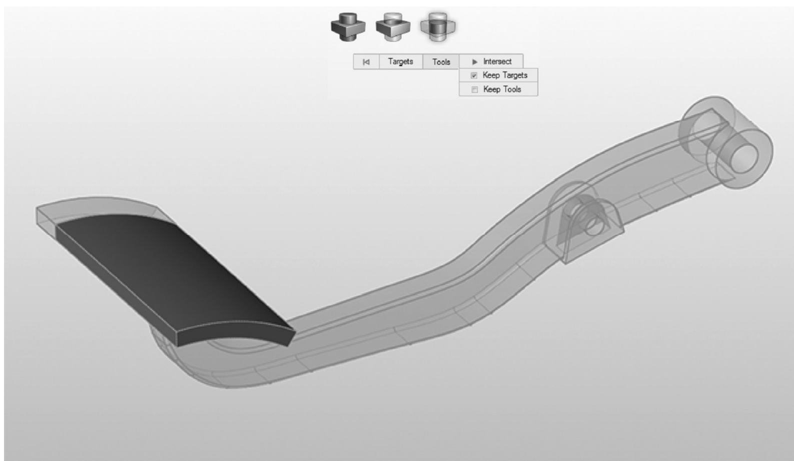


图 6-13

6）选中操作栏中的 Keep Targets 复选框，如图 6-14 所示。

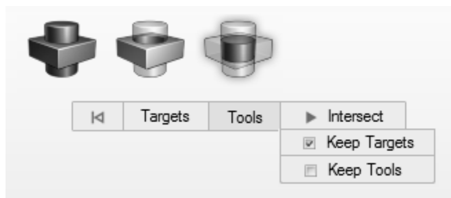


图 6-14

7）单击操作栏中的相交按钮执行操作，用鼠标右键单击退出该工具，然后选择制动臂，如图 6-15 所示。踏板和制动臂即成为两个独立的零件。

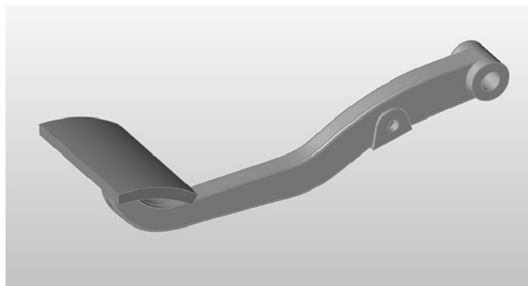


图 6-15

6.5 复制独立曲线

1）复制几何的另一种方法是复制单独的曲线。如图 6-16 所示，调整视图并使用鼠标滚轮放大主缸，如图 6-16 所示。

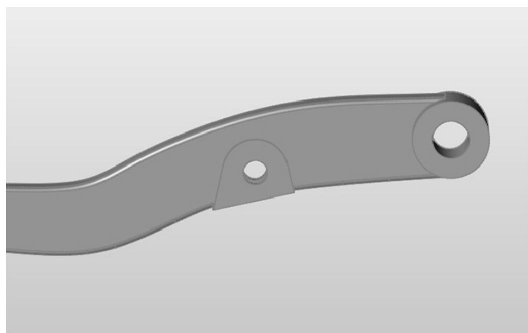


图 6-16

2）双击主缸体的面，进入推/拉模式，然后再次双击进入草绘模式，此时即会创建一个与所选面垂直的草绘平面，且所选面各边呈红色，如图 6-17 所示。

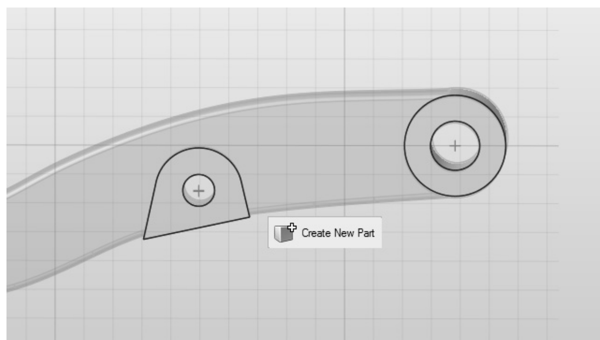


图 6-17

3）用鼠标右键单击所选面的一条边，并从右键菜单中选择 Create Curve，如图 6-18 所示。在所选面的 4 条外边上（而非内圆）重复上述步骤。

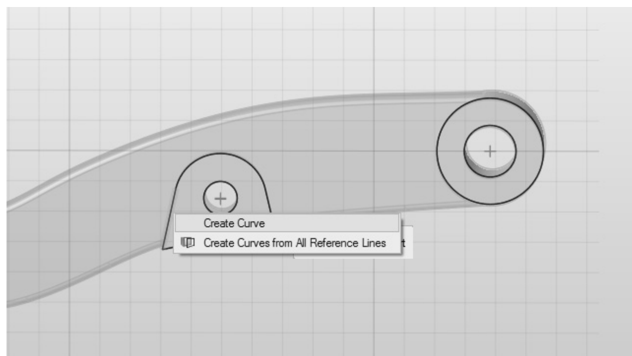


图 6-18

4）被选中的主缸外边界应显示为黑色，如图 6-19 所示。

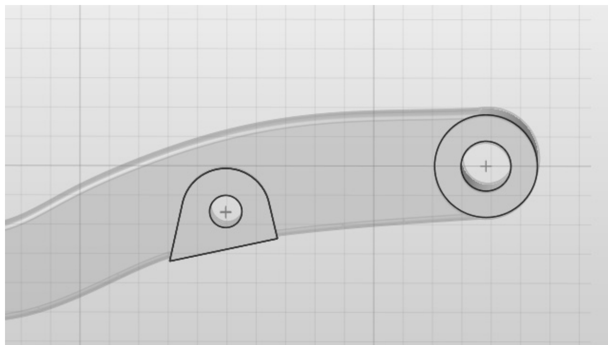


图 6-19

5）在草绘工具栏中，单击传递草图图标，将所创建的草绘移动到新零件中。

6）用鼠标右键单击退出草绘模式，进入推/拉模式。

7）单击并拖动该草绘平面，将其挤成一个实体，如图 6-20 所示。请确保单击圆的内部，这样才能选中整个面。

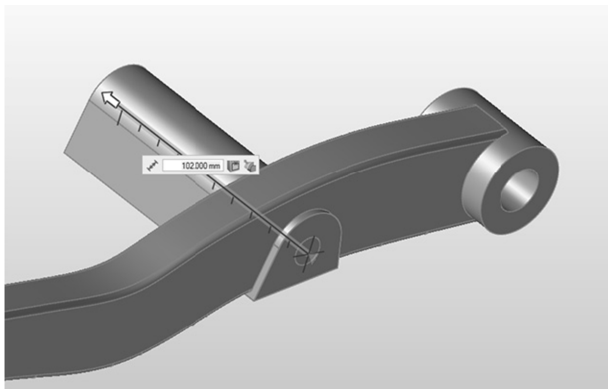


图 6-20

8）用鼠标右键单击退出推/拉模式。

6.6 使用相交工具创建主缸

1）选择几何功能区的布尔运算工具。

2）相交工具被激活，且目标已选中。

3）在模型视窗中单击制动臂将其选中，如图 6-21 所示。

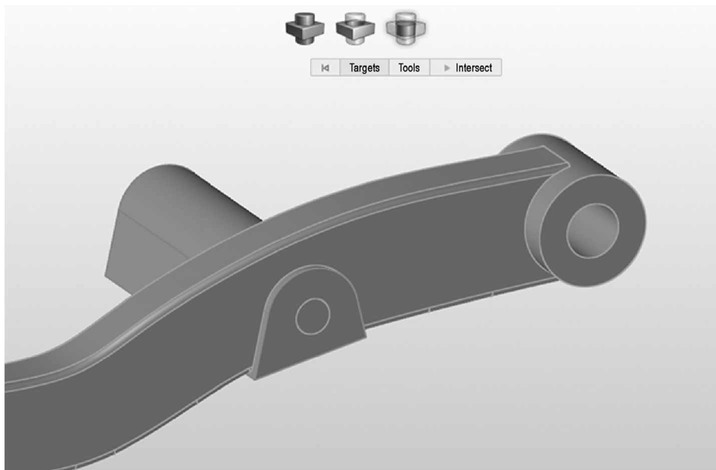


图 6-21

4）单击操作栏中的 Tools，如图 6-12 所示。

5）在模型视窗中单击主缸并将其选中，选中 Keep Targets 复选框，如图 6-22 所示。

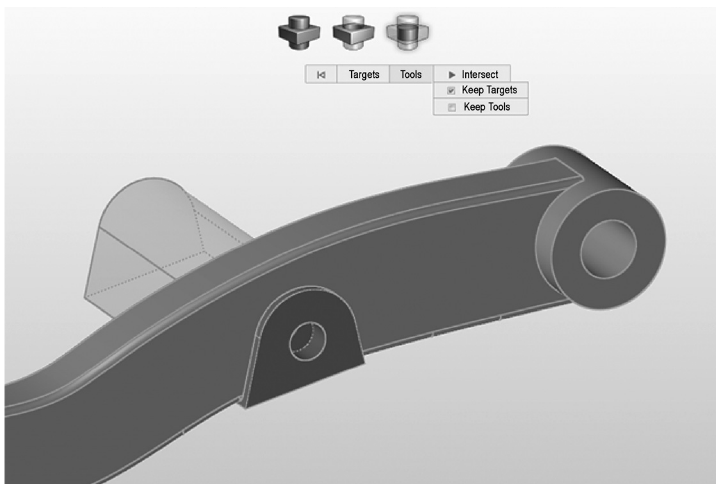


图 6-22

6）单击操作栏中的相交按钮执行操作，用鼠标右键单击退出该工具，然后选择主缸，如图 6-23 所示。主缸和制动臂即成为两个独立的零件。

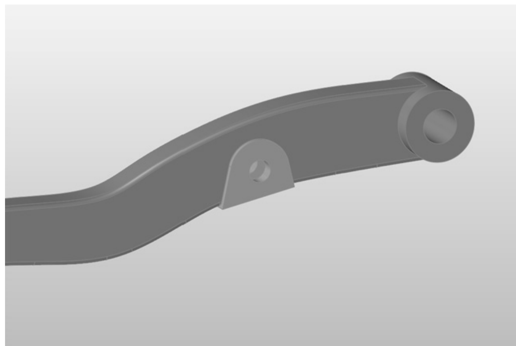


图 6-23

6.7 使用草图工具追踪曲线

1）复制几何的第三种方法是使用草绘工具在现有曲线上进行草绘。如图 6-24 所示，调整视图并使用鼠标滚轮放大联结部分。

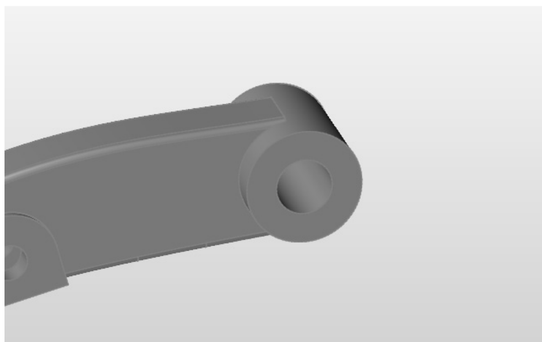


图 6-24

2）选择几何工具栏上的以中心和点绘制圆工具。

3）单击联结部分的表面，创建一个与所选面垂直的草绘平面，且所选面各边呈红色，如图 6-25 所示。

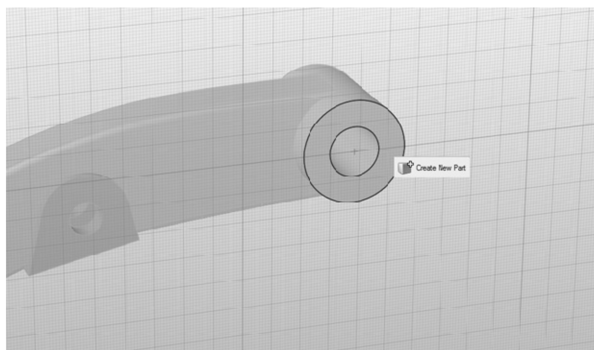


图 6-25

4）从草绘工具栏中选择新零件图标。

5）用鼠标单击一次放置圆心，然后再单击外圆上的一个四分点，即可在联结部分的外圆表面上绘制一个圆，如图 6-26 所示。

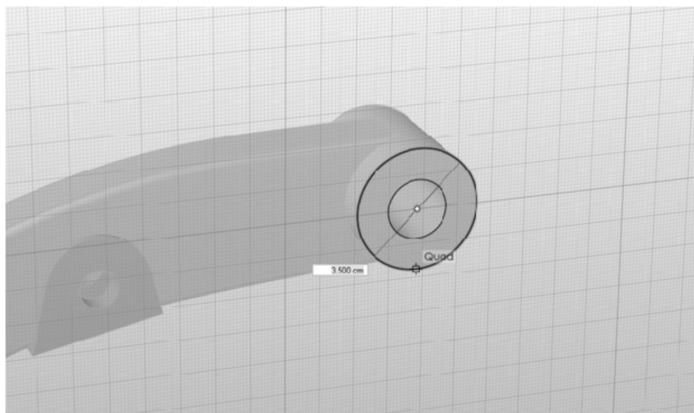


图 6-26

6）用鼠标右键单击两次退出草绘模式，进入推/拉模式。

7）单击并拖动该草绘平面，将其挤成一个实体，如图 6-27 所示。请确保单击圆的内部，这样才能选中整个面。

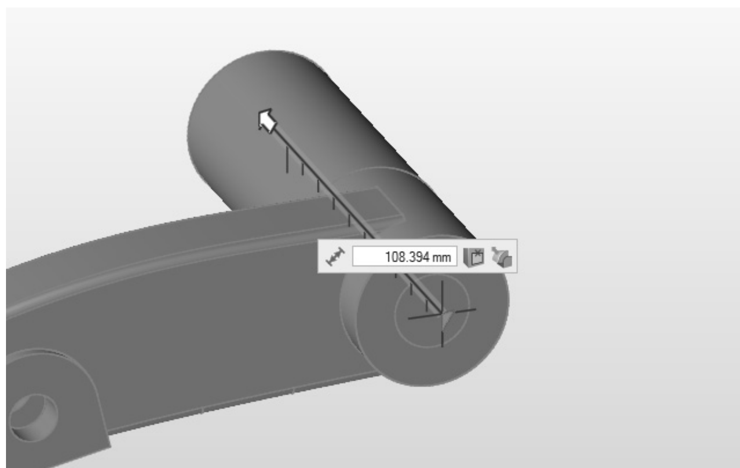


图 6-27

8）用鼠标右键单击退出推/拉模式。

6.8 使用相交工具创建联结

1）选择几何功能区的布尔运算工具。

2）相交工具被激活，且目标已选中。

3）在模型视窗中单击制动臂将其选中，如图 6-28 所示。

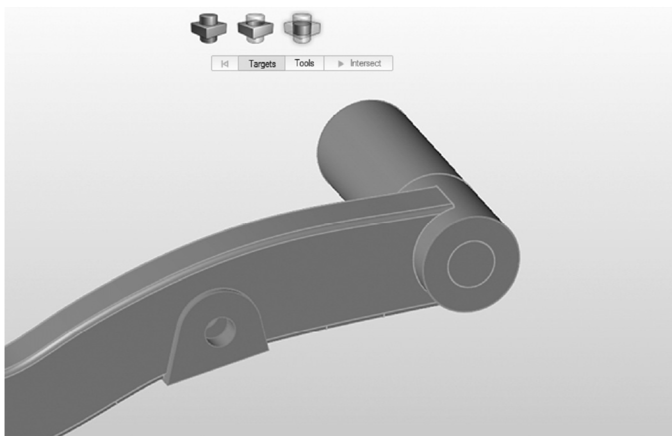


图 6-28

4）单击操作栏中的 Tools，如图 6-12 所示。

5）单击模型视窗中的联结部分将其选中，选中 Keep Targets 复选框，如图 6-29 所示。

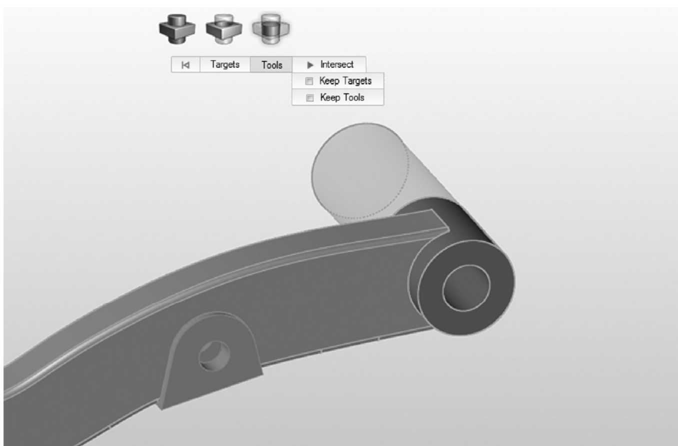


图 6-29

6）单击操作栏中的相交按钮执行操作，用鼠标右键单击退出该工具，然后选择联结部分，如图 6-30 所示。联结部分和制动臂即成为两个独立的零件。

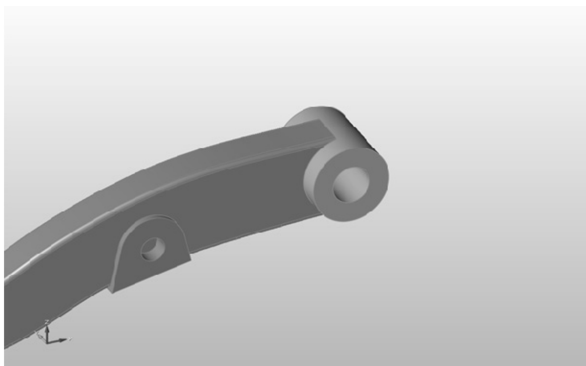


图 6-30

6.9 定义设计空间

1）如图 6-31 所示，调整视图直到可以看见整个制动臂。

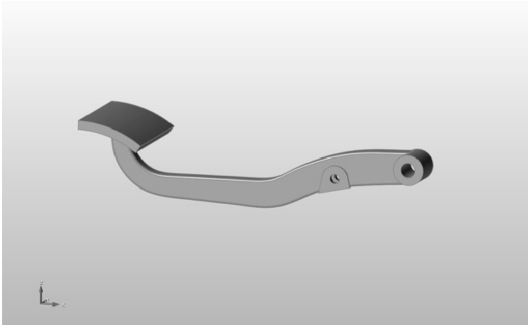


图 6-31

2）单击应用程序左下角视图控制中的 图标，切换至透视投影，如图 6-32 所示。

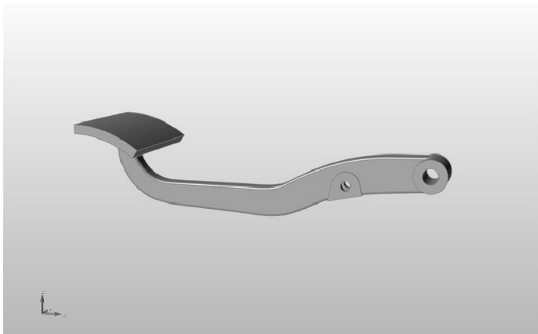


图 6-32

3）用鼠标右键单击制动臂，并从右键菜单中选择“设计空间”，如图 6-33 所示。

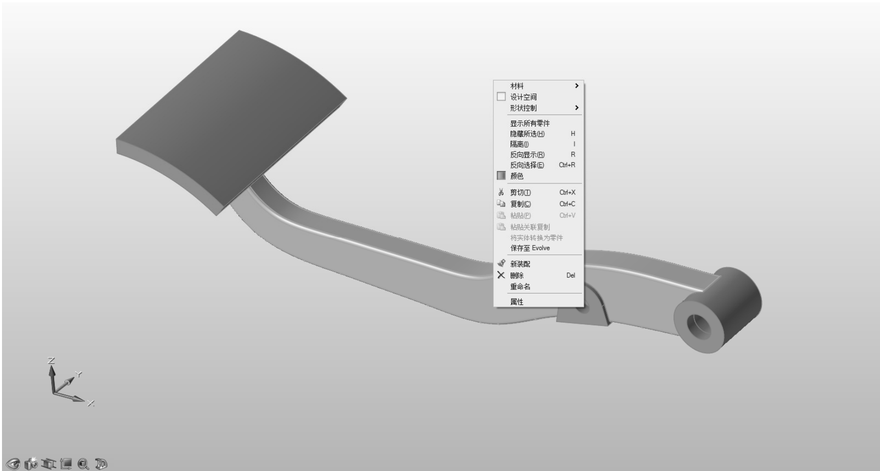


图 6-33

4）单击空白处，设计空间呈现为暗红色，如图 6-34 所示。

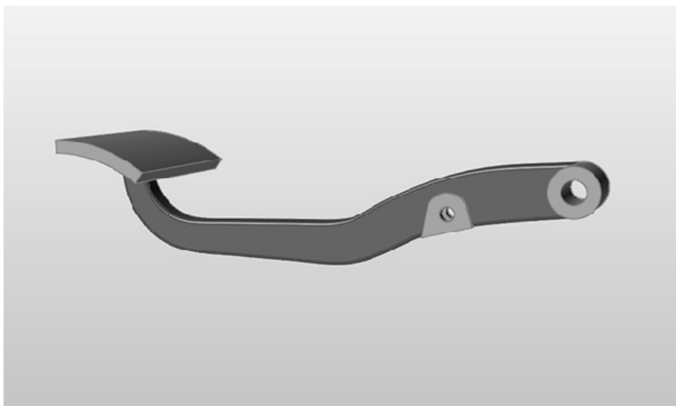


图 6-34

5）在模型浏览器中，将制动臂的各零件分别重命名为臂、踏板、主缸和联结。操作方法：单击模型浏览器中的一个零件将其选中，然后再次单击使文本框变为可编辑状态，如图 6-35 所示。

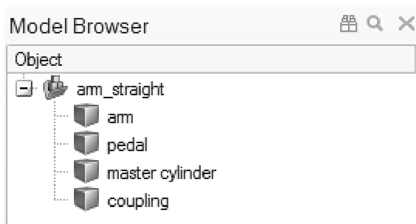


图 6-35

6）单击空白处取消选定所有零件，导入的 CAD 几何体即准备就绪并可进行优化，其中的制动臂被指定为设计空间（优化过程中，将会从该零件中剔除材料），而踏板、主缸和联结部分被指定为独立的非设计空间，如图 6-36 所示。

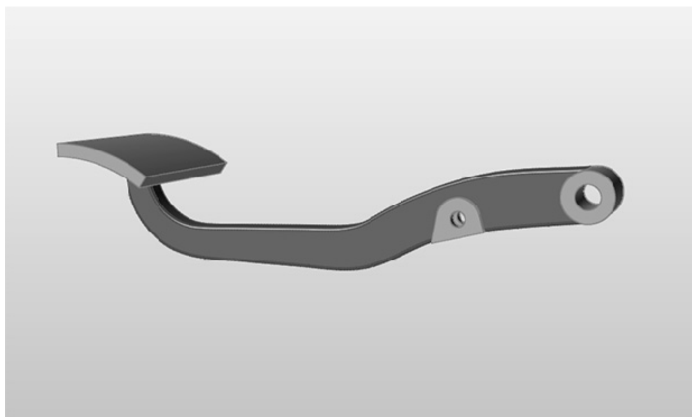


图 6-36

6.10 扩展阅读

1. 布尔运算

使用布尔运算工具通过一组实体编辑另一组实体，以此来创建一个新的对象。这两组实体分别称为工具和目标。可以单击几何功能区的布尔运算工具打开布尔运算工具组。

布尔工具将打开一个包含多个其他工具的二级功能区，如图 6–37 所示。

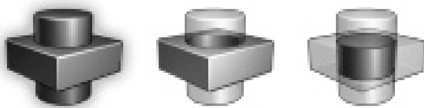


图 6–37

通过每个工具可打开一个操作栏，用于选中目标对象和工具对象。可以使用框选快速选中多个对象。按〈Esc〉键（而不是使用撤销功能）在操作完成前退出工具。

2. 布尔运算工具组

布尔运算工具有 3 种。单击蓝色链接，查看有关每个工具的详细信息。

3. 合并工具

合并工具可合并两个或多个对象，并保留所有材料。可通过几何功能区的布尔运算工具进入。

4. 合并工具操作栏选项

选择合并工具时会弹出一个操作栏，通过该操作栏即可选择要合并的对象。单击模型视窗中的对象将其选中。使用框选可选择多个对象。

单击清除选择按钮，取消选定所有对象。

单击合并按钮 Combine 执行操作。

5. 合并两组对象

1）选择几何功能区的布尔运算工具。

2）从二级功能区中选择合并工具，弹出一个操作栏。

3）单击要合并的对象。使用框选可选择多个对象。要取消选择所有对象并重新开始，请单击操作栏上的按钮。

4）选定对象后，单击操作栏中的合并按钮，所选对象即合并为一个零件。

6. 减去工具

减去工具以一组对象为工具减去另一组目标对象的一部分。可通过几何功能区的布尔运算工具进入，如图 6-38 所示。

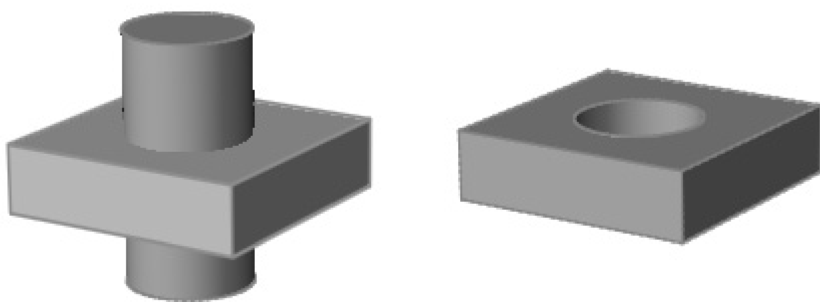


图 6-38

7. 减去工具操作栏选项

选择减去工具时会弹出一个操作栏，可用于选择两组对象。执行减去操作的一组对象叫作工具，被减去的一组对象叫作目标。要使减去工具产生有意义的结果，则两组对象必须相交。

1）单击目标按钮 Targets ，选择用作目标的一组对象。单击模型视窗中的对象将其选中。使用框选可选择多个对象。

2）单击工具按钮 Tools ，选择用作工具的一组对象。单击模型视窗中的对象将其选中。使用框选可选择多个对象。

3）单击清除选择按钮 ⏮，取消选定所有对象。

4）单击减去按钮 ▶ Subtract 执行操作。要在最终结果中保留工具对象，则选择保留工具复选框。

5）从一组对象中减去另一组对象。

① 选择几何功能区的布尔运算工具。

② 从二级功能区中选择减去工具。

③ 此时弹出一个操作栏，且自动选中 Targets，如图 6-39 所示。



图 6-39

④ 单击模型视窗中的目标对象将其选中。使用框选可选择多个对象。

⑤ 完成操作后，按〈Tab〉键或单击操作栏上的 Tools 按钮，如图 6-40 所示。



图 6-40

⑥ 单击模型视窗中的工具对象将其选中。使用框选可选择多个对象。要在最终结果中保留工具对象，则选择操作栏中的 Keep Tools 复选框，如图 6-41 所示。



图 6-41

⑦ 任何时候，如果需要取消选定所有对象并重新开始，则单击操作栏上的 [⏮] 按钮。

⑧ 选中目标和工具后，单击操作栏中的减去按钮执行操作。

8. 相交工具

相交工具用于选择两组对象，并仅保留两者的交集。可以通过几何功能区的布尔运算工具进入，如图 6-42 所示。

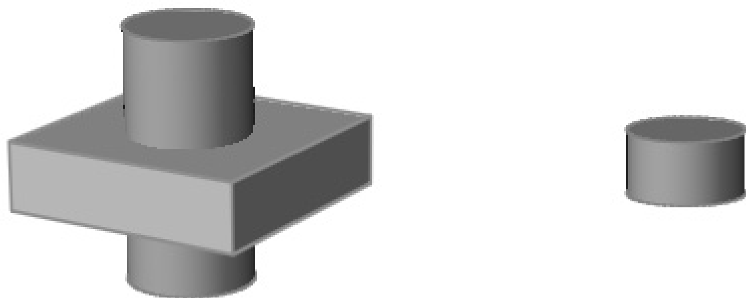


图 6-42

9. 相交工具操作栏选项

选择相交工具时会出现一个操作栏，可用于选择两组对象。选中的第一组对象称为目标、第二组对象称为工具。两组对象必须有相交的部分，相交工具才能产生有意义的结果。

1）单击目标按钮 [Targets]，选择用作目标的一组对象。单击模型视窗中的对象将其选中。使用框选可选择多个对象。

2）单击工具按钮 [Tools]，选择用作工具的一组对象。单击模型视窗中的对象将其选中。使用框选可选择多个对象。

3）单击清除选择按钮 [⏮]，取消选定所有对象。

4）单击相交按钮 [▶ Intersect] 执行操作。默认情况下，仅保留两组对象相交的部分，但通过选择保留工具或保留目标，可将所有工具或目标区域均保留在相交部分。

5）寻找两组对象的相交部分。

① 选择几何功能区的布尔运算工具。

② 从二级功能区中选择相交工具。

③ 此时弹出一个操作栏，且自动选中 Targets。

④ 单击模型视窗中的目标对象将其选中。使用框选可选择多个对象。

⑤ 完成操作后，按〈Tab〉键或单击操作栏上的工具按钮。

⑥ 单击模型视窗中的工具对象将其选中。使用框选可选择多个对象。要在最终结果中保留初始对象，请选择操作栏中的 Keep Tools 复选框。

⑦ 任何时候，如果需要取消选定所有对象并重新开始，请单击操作栏上的 ⏮ 按钮。

⑧ 选中目标和工具后，单击操作栏中的相交按钮执行操作。

注意：所有布尔运算最终得到的零件属性（包括颜色、材质、设计空间等）都将继承“目标”中第一个选中的零件的属性。

第 7 章



质量最小化

在 Inspire 优化运行目标选项中，除了前几章中介绍和使用的最大化刚度的选项外，还可以选择质量最小化选项，相应的用户可以定义应力约束以确保产品强度性能。本章将对这一方法进行介绍。

本章要点如下：

- **按照质量最小化目标来运行优化**。
- **施加挤出形状控制**。
- **施加应力约束**。
- **施加位移约束**。
- **对比优化结果**。

7.1 导入后置式托架模型

1）打开 Inspire。

2）单击文件图标中的打开模型。

3）在打开文件窗口中，选择 Tutorials 文件夹。

4）选择文件 Rear Set Bracket.stmod 并打开，如图 7-1 所示。

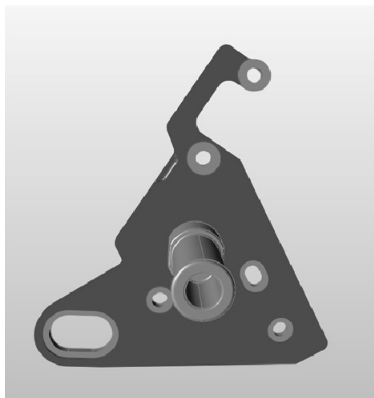


图 7-1

5）如果模型不可见，则按〈F2〉键打开模型浏览器，如图 7-2 所示。

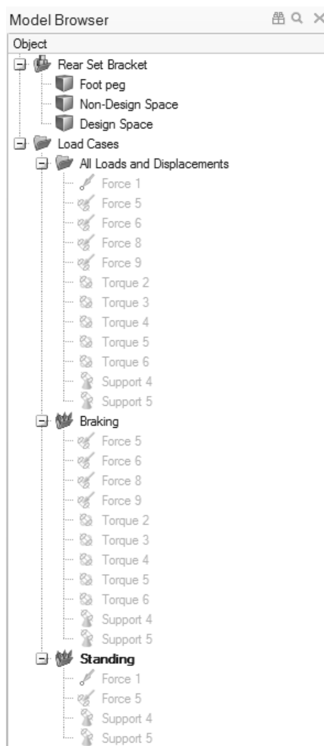


图 7-2

6）确保应用程序右下角的单位系统选择器已设置为 MPA（mm t N MPa），如图 7-3 所示。

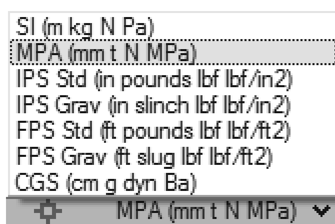


图 7-3

7.2 施加挤出形状控制

1）在功能区上选择“结构仿真”菜单。

2）在形状控制图标上单击拔模方向工具。

3）单击二级功能区中的挤出工具。

4）单击一个设计空间，对其施加拔模方向，如图 7-4 所示。右击退出该工具。

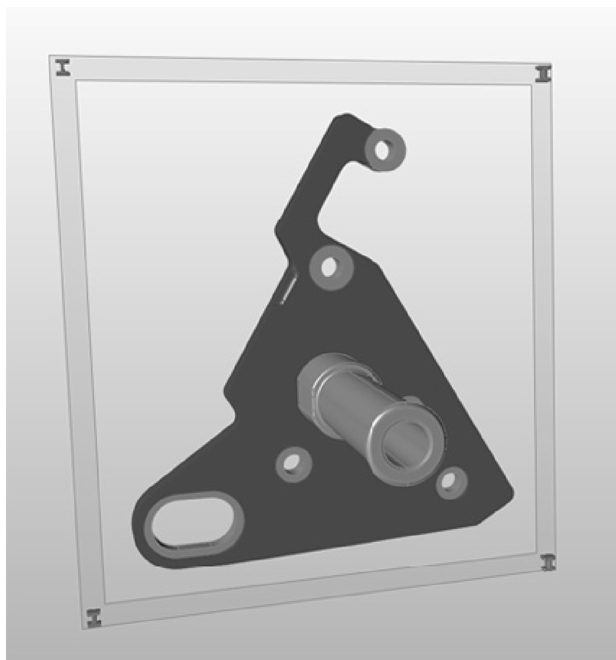


图 7-4

7.3 检查载荷工况

1）在模型浏览器中，用鼠标右键单击直立载荷工况，然后从右键菜单中选择显示，显

示该载荷工况中的所有载荷和固定约束，如图 7-5 所示。



图 7-5

2）该直立载荷工况中引用的所有力和固定约束将显示在模型视窗中。该工况中显示的力施加在直立的脚踏上，如图 7-6 所示。

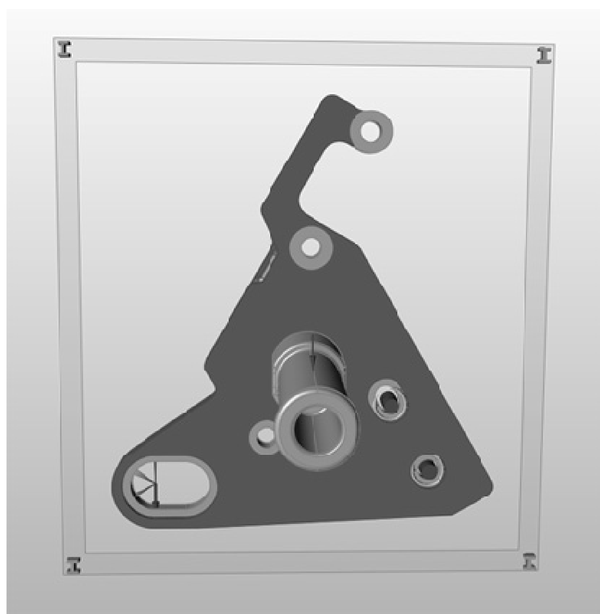


图 7-6

3）在模型浏览器中，单击直立载荷工况旁边的 图标，隐藏该载荷工况中的所有载荷和固定约束，如图 7-7 所示。



图 7-7

4）单击制动载荷工况旁边的 图标，显示该载荷工况中的所有载荷和固定约束，如图 7-8 所示。

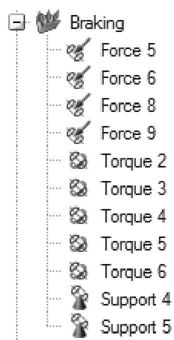


图 7-8

5）该制动载荷工况中引用的力和固定约束将显示在模型视窗中，如图 7-9 所示。该工况中显示的力会在启动制动踏板时施加到托架上。注意：有的力同时施加在制动踏板和托架连接处和连接主缸的托架顶部。

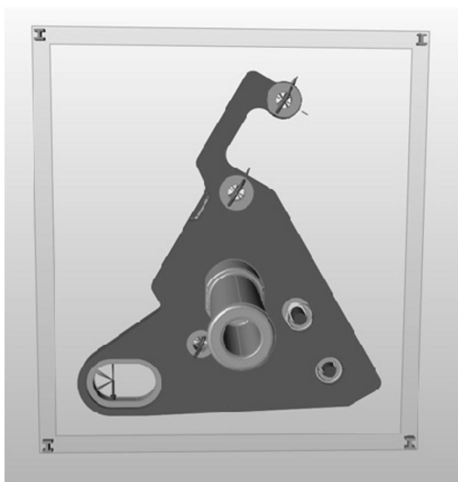


图 7-9

6）按〈A〉键两次即可显示模型中所有的载荷和固定约束，如图 7-10 所示。

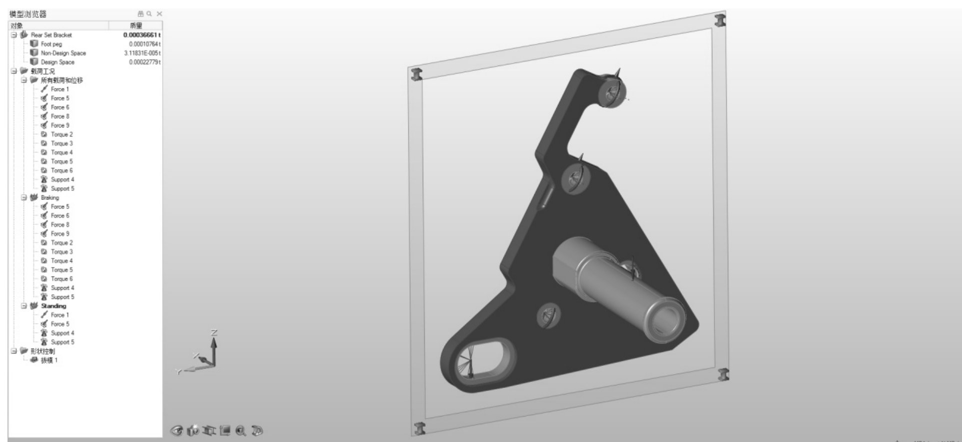


图 7-10

7）确保直立载荷工况为当前载荷工况（当前载荷工况以粗体显示在模型浏览器中）。如果直立载荷工况不是当前载荷工况，则用鼠标右键单击模型浏览器中的直立载荷工况，然后从右键菜单中选择当前，如图 7-11 所示。

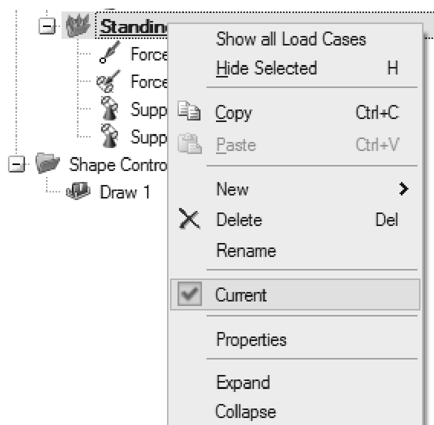


图 7-11

7.4 使用应力约束运行优化，以达到质量最小化

1）单击优化图标中的运行优化图标 ▶，打开运行优化窗口，如图 7-12 所示。

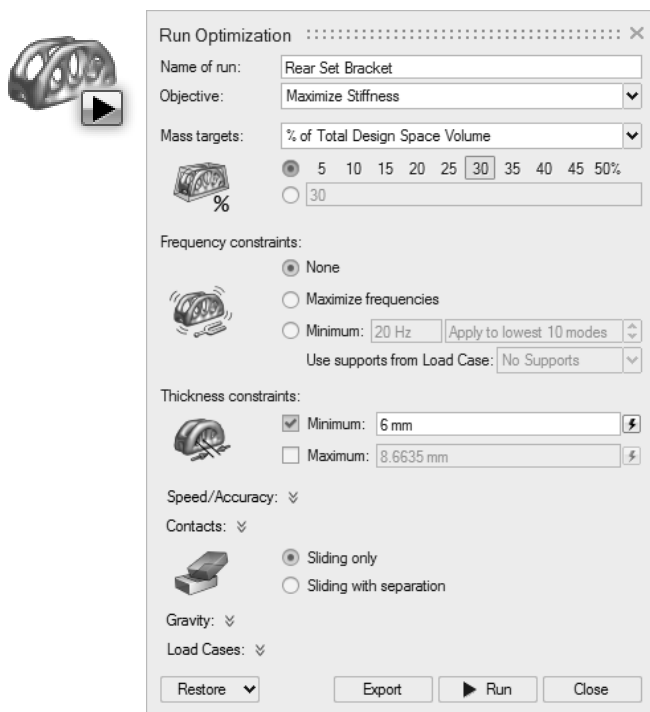


图 7-12

2）选择最小化质量作为优化目标，如图 7-13 所示。

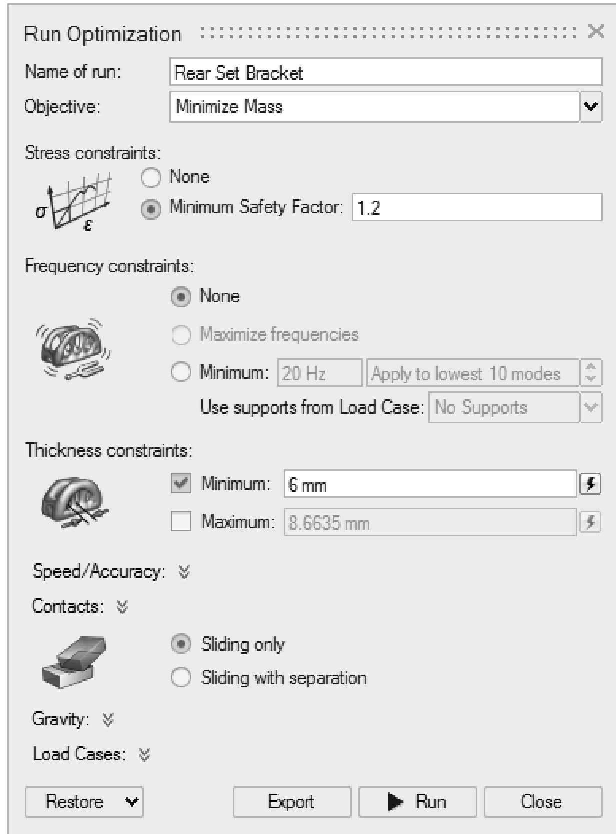


图 7-13

3）对于应力约束，使用默认的最小安全系数 1.2，如图 7-14 所示。Inspire 通过分析模型中使用的材料来确定哪一种材料具有最低屈服应力，然后除以最小安全系数，以计算出应力约束。

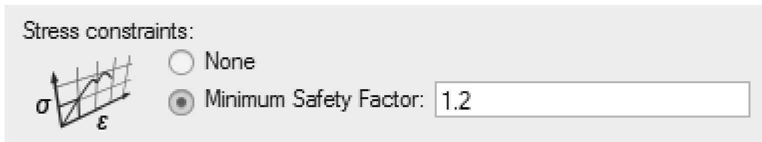


图 7-14

4）对于厚度约束，确保最小设置为 6 mm，如图 7-15 所示。

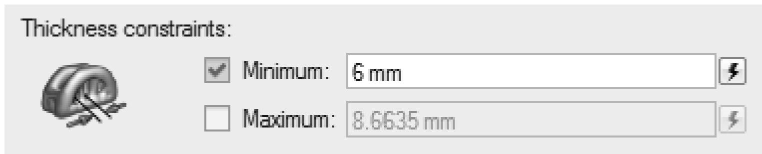


图 7-15

5）单击载荷工况旁边的 ≚ 按钮，如图 7-16 所示。在默认情况下，优化会在制动和直立两种载荷工况下运行。

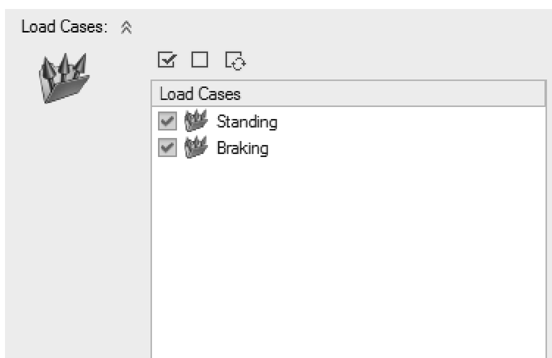


图 7-16

6）单击 Run 按钮。优化完成时，会有一个绿色的勾选标记出现在优化运行状态窗口中，如图 7-17 所示。

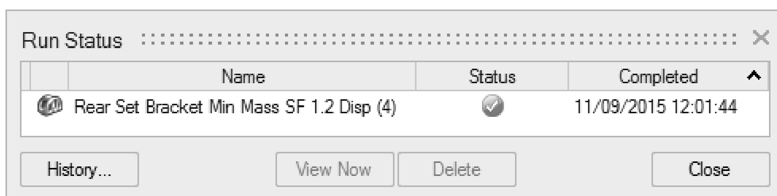


图 7-17

7）双击运行的名称查看结果。此时会显示优化过的形状，如图 7-18 所示。

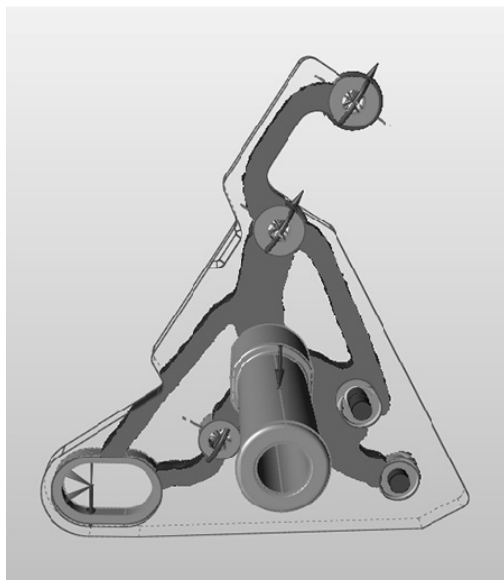


图 7-18

8）单击并拖曳形状探索器上的拓扑滑块，直到所有设计都完全连接到一点上为止，所得形状即为优化的最终结果，如图 7-19 所示。

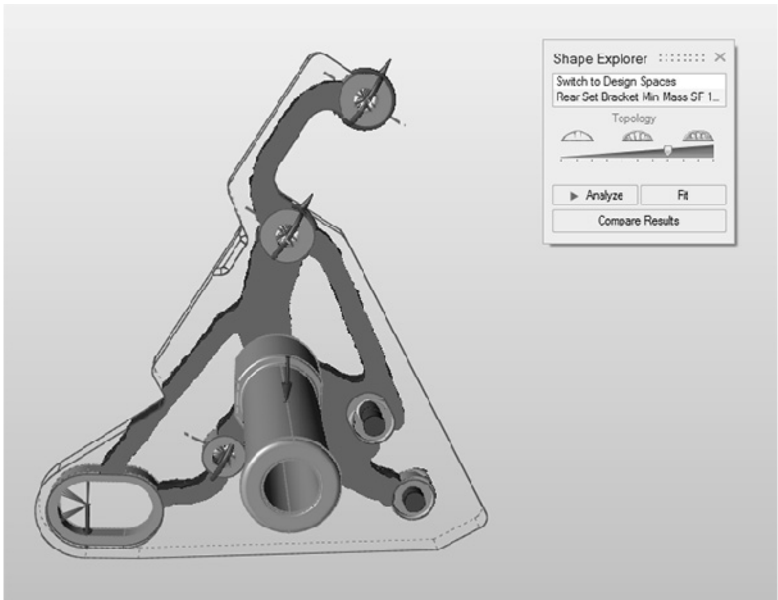


图 7-19

7.5 更改应力约束

1）单击运行优化图标 ▶ 打开运行优化窗口。

2）对于应力约束，将最小安全系数改为 2.0，如图 7-20 所示。

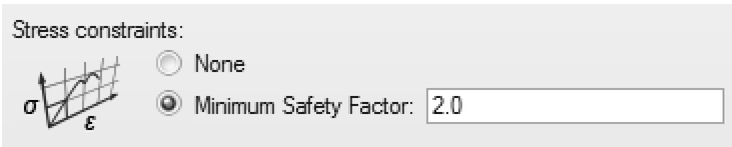


图 7-20

3）单击 Run 按钮，优化完成时，会有一个绿色的勾选标记出现在优化运行状态窗口中，如图 7-21 所示。

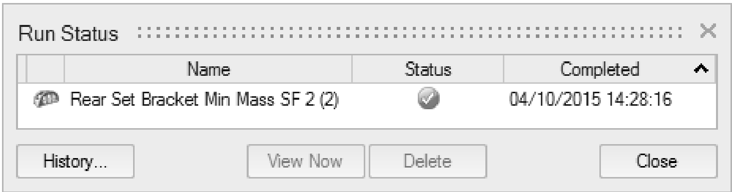


图 7-21

4）双击运行的名称查看结果，此时会显示优化过的形状，如图 7-22 所示。

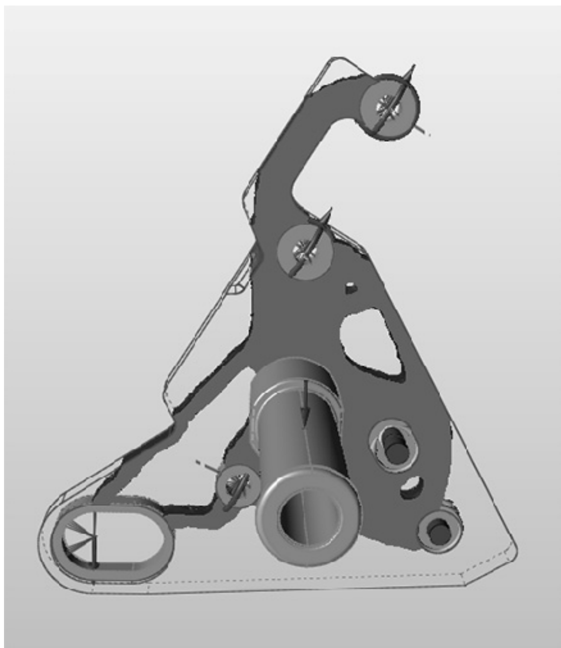


图 7-22

5）单击并拖曳形状探索器上的拓扑滑块，直到所有设计都完全连接到一点上为止，如图 7-23 所示。

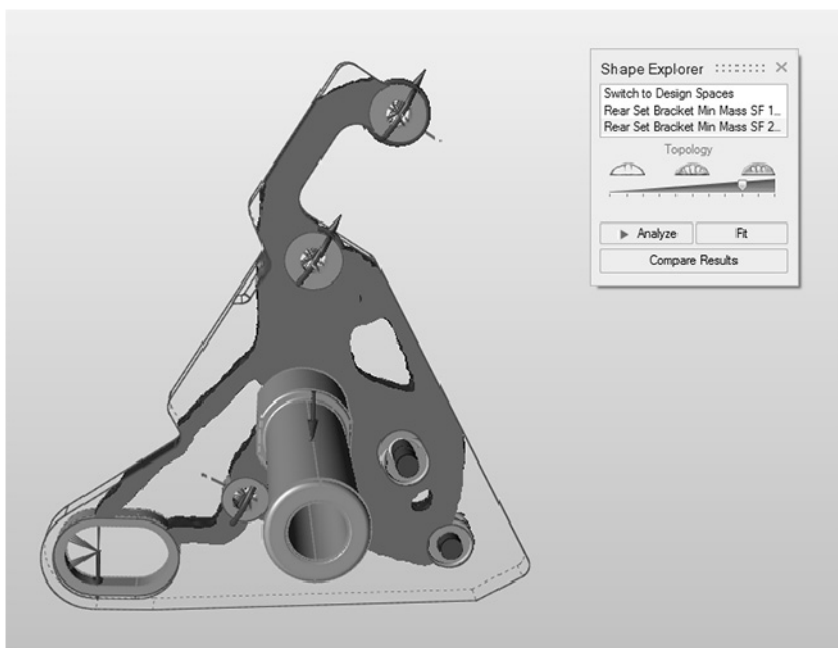


图 7-23

7.6 对比优化结果

1）在模型浏览器或形状探索器中选择最小质量安全系数为 1.2 方案，此时得出最小安全系数为 1.2 时的优化结果，如图 7-24 所示。

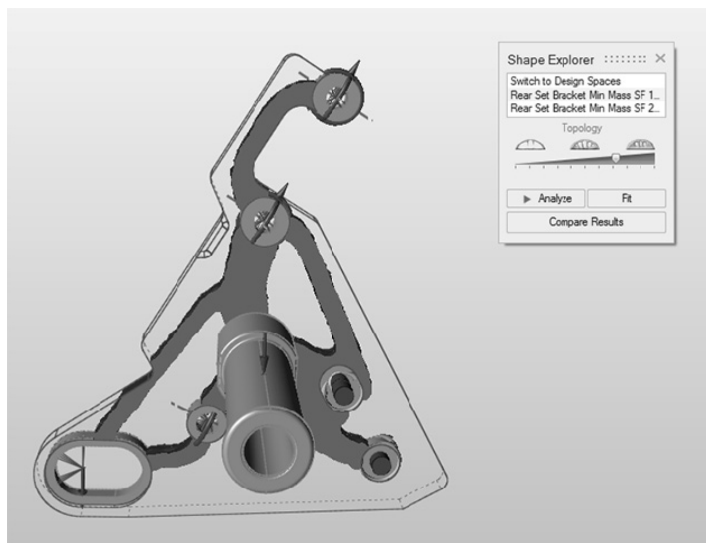


图 7-24

2）选择最小质量安全系数 2.0 备选方案，此时得出最小安全系数为 2.0 时的优化结果，如图 7-25 所示。

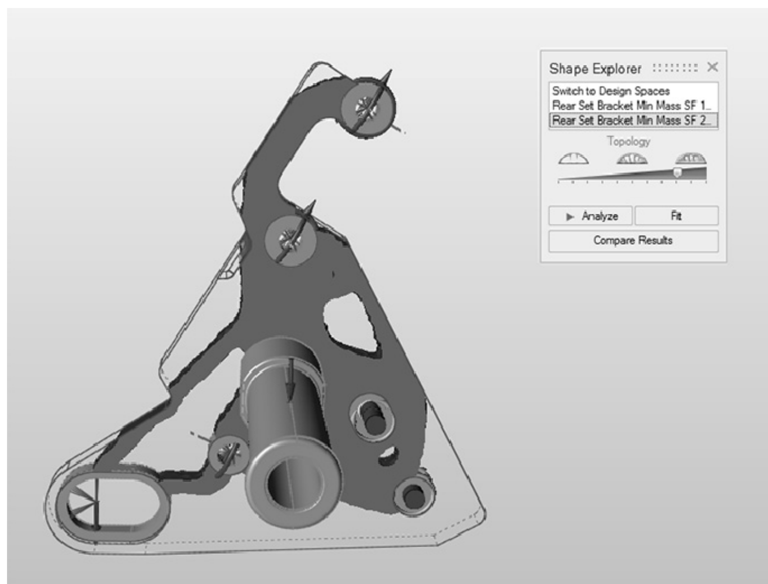


图 7-25

3）在两个备选方案之间进行切换，以对比两种优化运行的结果。降低安全系数可以创建较轻的零件，提高安全系数可以创建较重的零件。

7.7　查看设计违规

1）单击运行优化图标▶打开运行优化窗口。

2）对于应力约束，将最小安全系数改为 4.0，如图 7-26 所示。

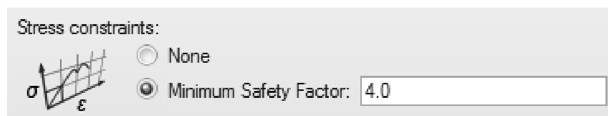


图 7-26

3）单击 Run 按钮，在运行完成后，运行状态窗口会出现一个警告符号，表明此次优化未能取得与所设定约束或目标相对应的结果，如图 7-27 所示。

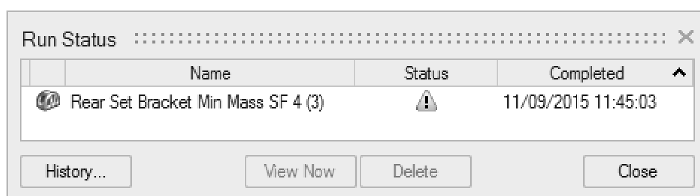


图 7-27

4）双击运行的名称查看结果，如图 7-28 所示。

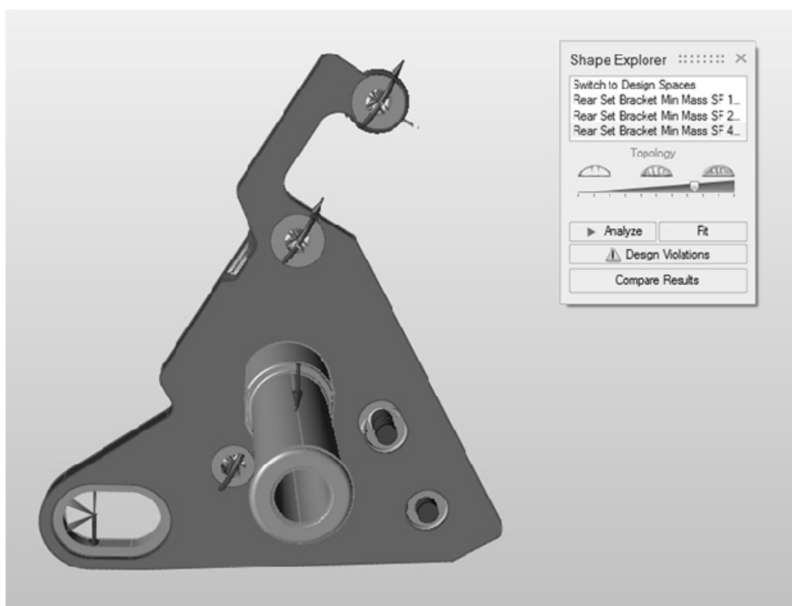


图 7-28

5）单击形状探索器底部的设计违规按钮，查看设计违规表。应力约束选项卡中的警告符号表明，此次优化未能达到最小安全系数为 4 的目标，如图 7-29 所示。


Design Violations

Displacement Constraints (0) | Stress Constraints (1) | Mass Targets (0) | Frequency Constraints (0)

Constraint	Minimum Desired
Safety Factor	4

图 7-29

6）关闭设计违规表，选择形状探索器中的 Switch to Design Spaces，查看初始设计空间，如图 7-30 所示。

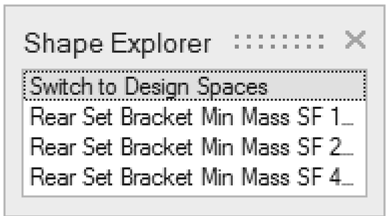


图 7-30

7.8 施加位移约束

1）选择结构仿真功能区上的位移约束工具。

2）单击脚踏的最前端施加位移约束，如图 7-31 所示。

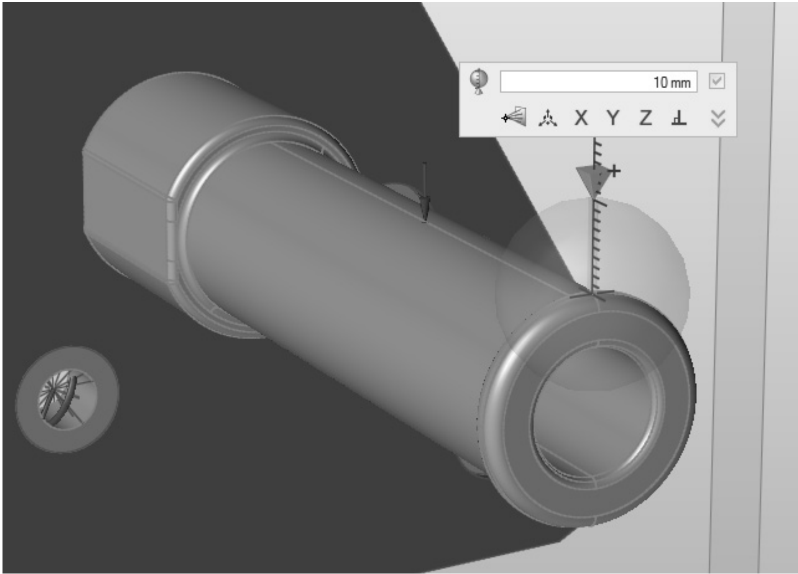


图 7-31

3）将边界改为 1.2 mm，如图 7-32 所示。

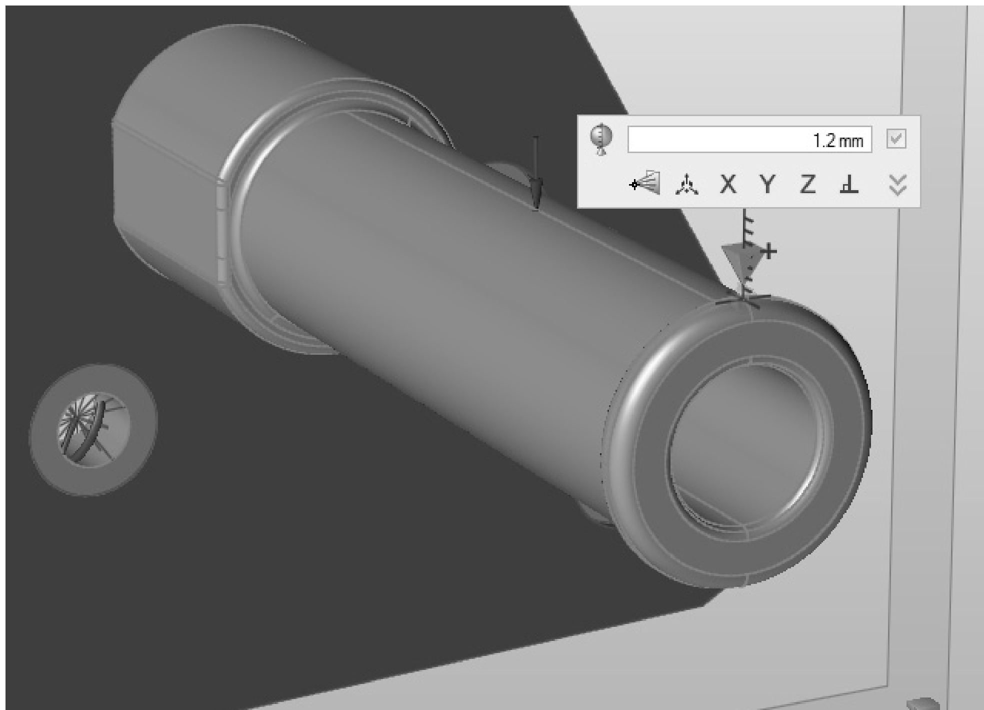


图 7-32

4）使用鼠标滚轮放大显示，如图 7-33 所示。默认情况下，位移约束施加到所有方向。

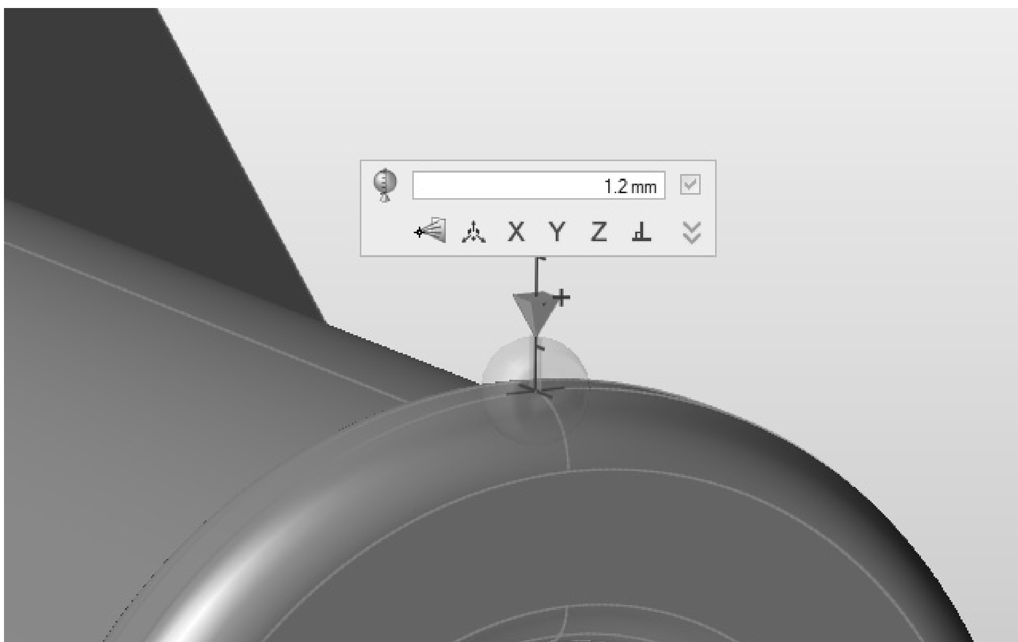


图 7-33

5）在模型浏览器中，确保位移约束 1 显示在直立载荷工况而非制动载荷工况中，如图 7-34 所示。

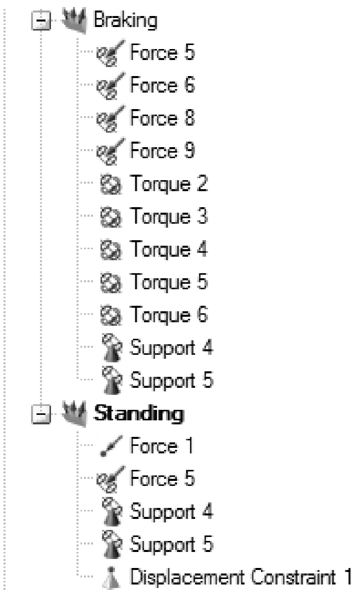


图 7-34

7.9　施加位移约束后重新运行优化

1）单击运行优化图标 ▶ 打开运行优化窗口。

2）对于应力约束，将最小安全系数改为 1.2，如图 7-35 所示。

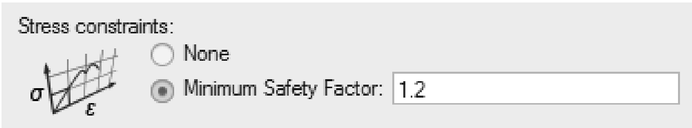


图 7-35

3）单击 Run 按钮优化完成时，会有一个绿色的勾选标记出现在运行状态窗口中，如图 7-36 所示。

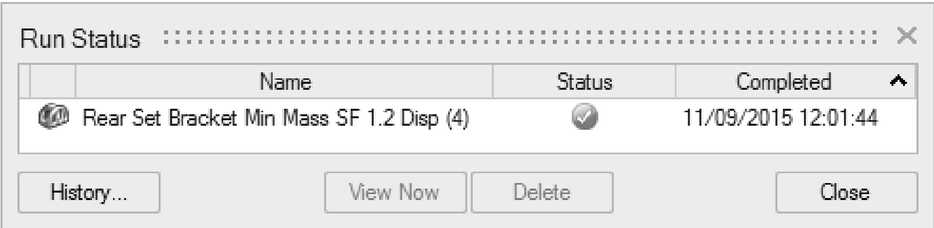


图 7-36

4）在运行状态窗口中双击运行的名称，或单击优化图标中的绿色旗帜，会显示优化过的形状，如图 7-37 所示。

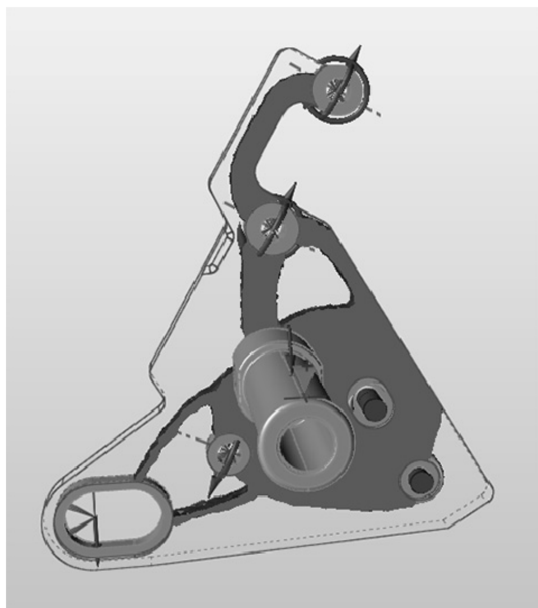


图 7-37

5）单击并拖曳形状探索器上的拓扑滑块，直到所有设计都完全连接到一点上为止，如图 7-38 所示。

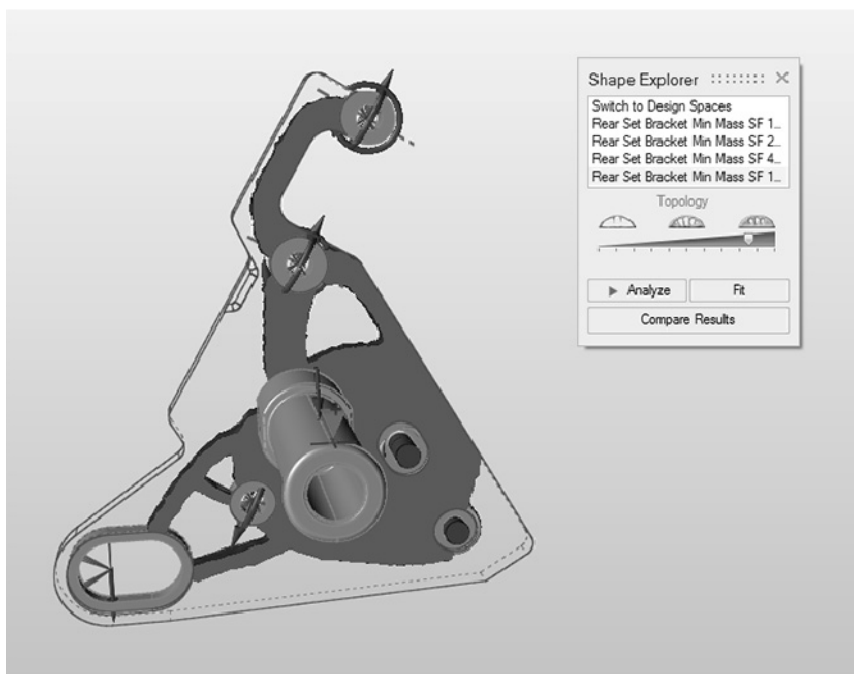


图 7-38

6）对比最新的优化运行（已施加位移约束见图 7-39）和第一次施加最小质量安全系数 1.2 后的优化运行（未施加位移约束见图 7-40），优化计算会产生一个明显不同的结果。

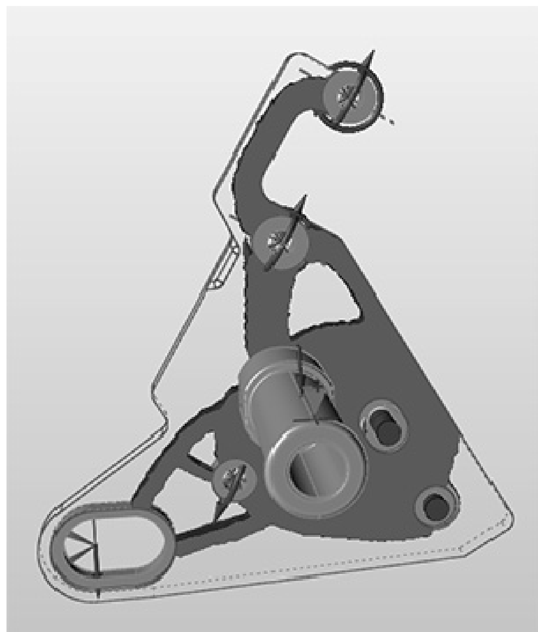


图 7-39

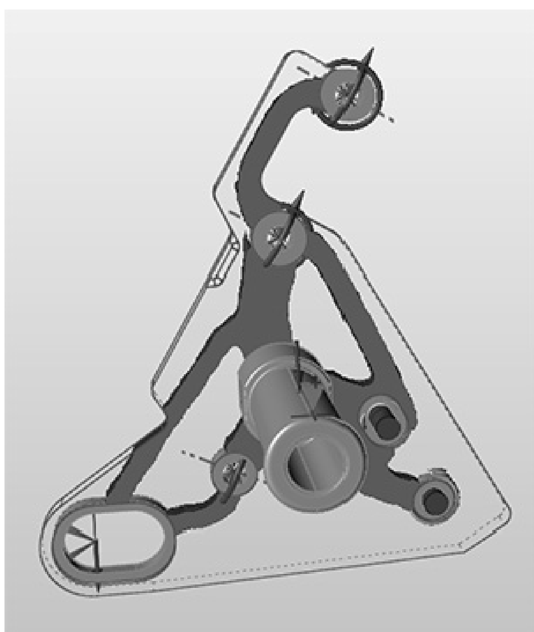


图 7-40

7.10 扩展阅读

1. 优化目标

运行优化时，必须确定目标是最大化刚度还是最小化质量。如果选择设计空间刚度最大化，则产生的形状将不容易发生偏移，但是可能会更重一些。如果选择最小化质量，则产生的形状会轻一些，但是可能容易发生偏移。设计空间和施加在模型上面的载荷、固定约束和形状控制一定时，根据运行优化窗口中所选目标的不同，产生的结果也不尽相同。

2. 最大化刚度

示例：根据质量目标最大化刚度。

根据已设定的不同质量目标，在刚度最大化的条件下对图 7-41 所示的摩托车支架进行了优化。

质量目标为整个设计空间的 50%时，结果为完全连接，如图 7-42。下一步是尝试降低质量目标，以观察能否得到具有类似连接的零件。



图 7-41



图 7-42

如图 7-43 所示，将质量目标降至整个设计空间的 30%时，得出的结果仍然是完全连接，如图 7-43 所示。当质量目标降至整个设计空间的 20%时，优化后的形状则显示为分离，如图 7-44 所示。这表明，对结果形状载荷路径所做的定义不合适。对比 3 个结果，质量目标为 30%时产生的结果将是此次设计的最佳起点，因为其以最低的质量将所有固定约束和力的位置连接在一起。



图 7-43

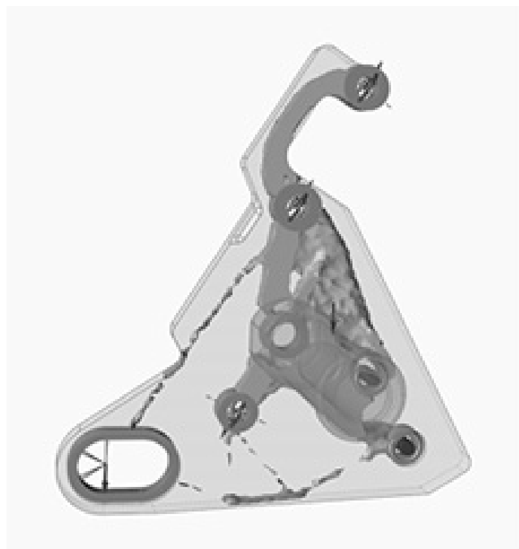


图 7-44

提示：通常情况下，需要使用实际的载荷和固定约束值才能获得有意义的优化结果，但在进行刚度最大化时，也可以使用相对载荷和固定约束。

3. 最小化质量

1）根据应力约束最小化质量。

如图 4-45 所示，根据最小安全系数中定义的应力约束进行质量最小化，从而对摩托车支架进行优化。随着安全系数增大，需要添加更多的材料来抵抗所施加的载荷。安全系数为 1.2 的应力约束如图 7-46 所示，安全系数为 2.0 的应力约束如图 7-47 所示。



图 7-45

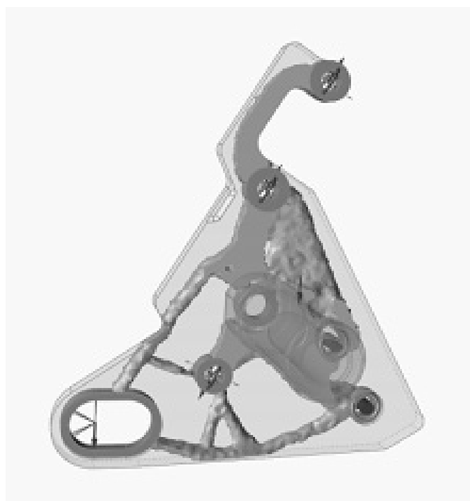


图 7-46

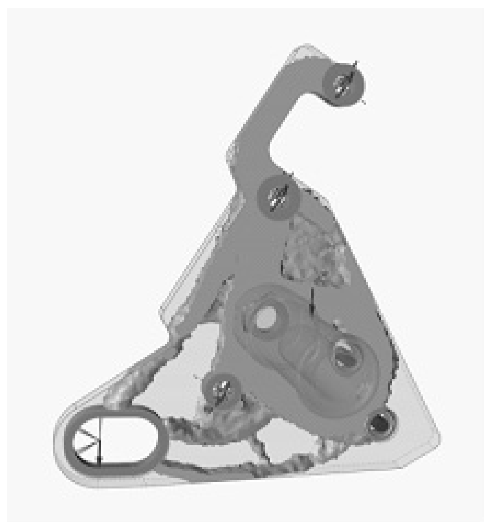


图 7-47

2）根据应力和位移约束最小化质量。

施加位移约束可以限制模型中某个特定的点从最初的位置偏移特定的距离。图 7-48 所示脚踏的位移约束为 2mm，图 7-49 所示脚踏的位移约束为 1mm，除了应力约束外，摩托车支架的脚踏上还施加了位移约束。随着脚踏上所允许的位移不断下降，优化后的形状需要更多材料才能抵抗偏移。

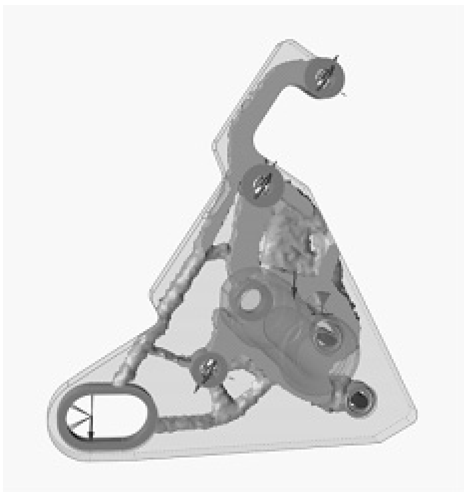


图 7-48

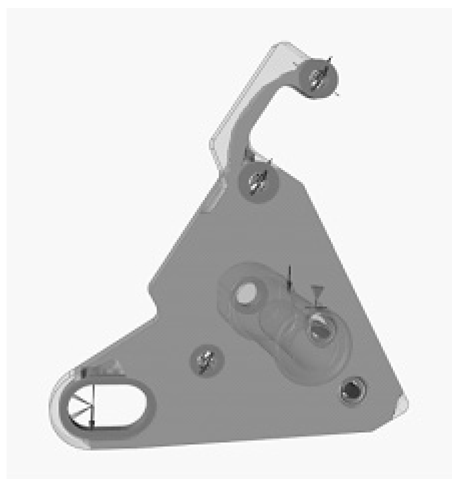


图 7-49

提示：使用位移约束时，建议同时施加应力约束，如图 7-50 所示。如果单独使用，则位移约束可能会对优化造成影响，导致各区域分离，如图 7-51 所示。

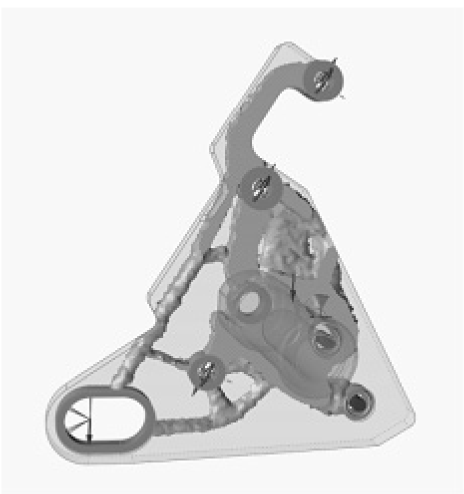


图 7-50

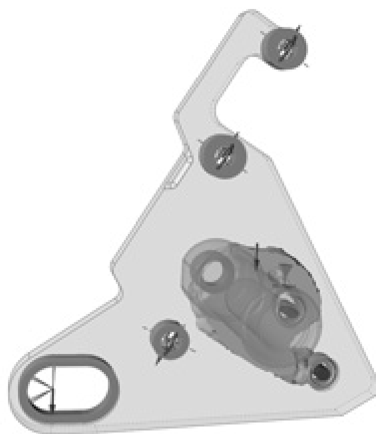


图 7-51

4. 频率约束

在某些情况下，可以改变对象的固有频率，以避免与设计中的其他零件产生共振。如果要控制优化后零件的振动频率，则可在运行优化之前，通过运行优化窗口设置频率约束。

在最大化刚度的过程中，可选择最大化频率或设置一个具体的最小频率。如果选择最大化频率，则 Inspire 将自动对模型的刚度和频率进行最大化，而最低的固有频率将会显示在形状探索器窗口中。如果所得的频率不够高，无法满足约束要求，则需要为优化后的形状分配更硬的材料或修改质量目标。

在质量最小化过程中，可以输入一个具体的最小频率，并指定必须超过该频率的最低模

式的数量。如果 Inspire 无法为最低模式实现指定的频率，这将标记在形状探索器窗口中；或者在某些情况下，优化运行可能失败。如果出现这样的情况，请尝试分配更硬的材料。

如果优化后的形状未达到所需的频率约束，则需要为零件添加材料。在图 7-52 中，设计出的最终零件没有达到所要求的最低频率 500Hz。

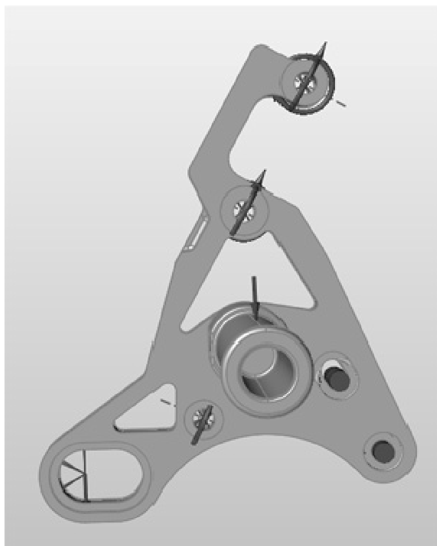


图 7-52

因此，必须增加 3 个设计空间并施加挤出形状控制，从而添加新材料以达到频率约束目标，如图 7-53 所示。

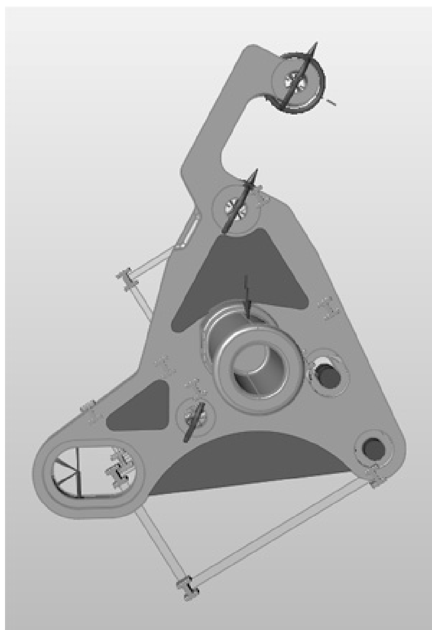


图 7-53

然后，在目标为最小化质量的情况下运行优化。只施加了频率约束（未施加应力或位移约束），最终生成的形状，如图 7-54 所示，其中为达到频率约束目标而添加的材料显示为黄色。

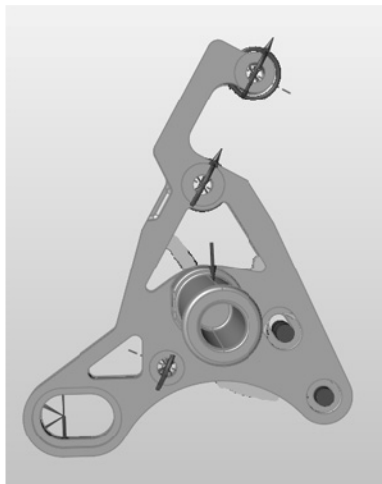


图 7-54

第 8 章



运行基线分析

本章将学习在稳定状态下对某个零件进行基线静态分析，并查看分析结果。在力学中，稳定状态被定义为处于平衡状态下的系统的状态。平衡意味着系统中的载荷是均衡的，因此系统处于静止状态（$V=0$）。这种平衡系统称为静态分析。求解静态分析时，有限元求解器将求解方程 $Kx = f$。

式中，K是总体刚度矩阵，x是待确定的位移响应向量，f是施加到结构上的外力向量。

本章学习要点如下：

- **运行基线静态分析**。
- **查看安全系数结果**。
- **查看位移结果**。
- **查看米塞斯等效应力结果**。
- **查看拉伸与压缩的结果**。
- **播放动画**。

8.1 打开基线分析模型

1）打开 Inspire。

2）单击文件图标中的打开模型。

3）在打开文件窗口中，选择 Tutorials 文件夹。

4）选择文件 Baseline Analysis.stmod 并打开，如图 8-1 所示。

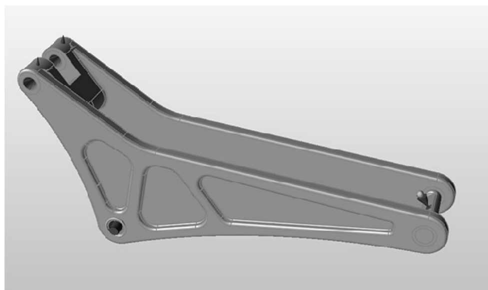


图 8-1

5）如果模型不可见，则按〈F2〉键打开模型浏览器，如图 8-2 所示。

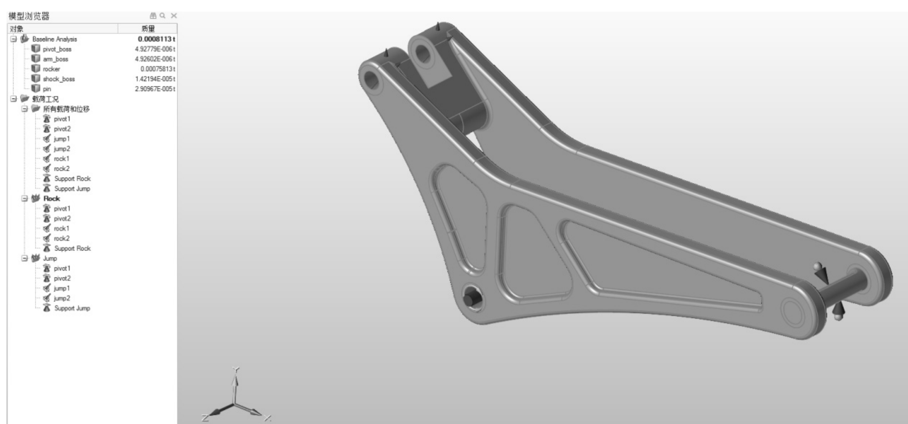


图 8-2

6）确保应用程序右下角的单位系统选择器已设置为 MPA（mm t N MPa），如图 8-3 所示。

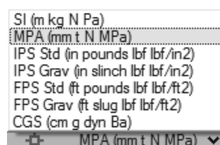


图 8-3

8.2 运行基线静态分析

1）在功能区上单击“结构仿真”菜单。

2）单击分析图标中的运行分析图标 ▶，打开运行分析窗口，如图 8-4 所示。

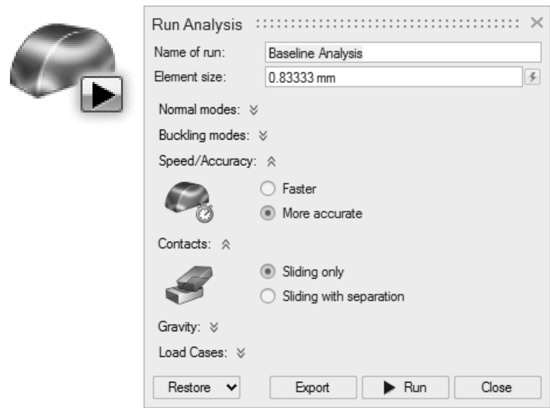


图 8-4

3）将单元尺寸更改为 3 mm，如图 8-5 所示。

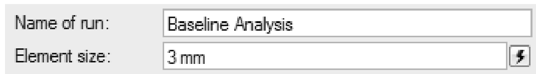


图 8-5

4）在 Speed/Accuracy 选项区中选中 More accurate 单选按钮，如图 8-6 所示。

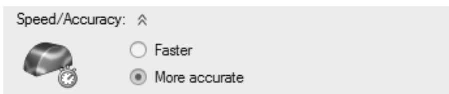


图 8-6

5）单击 Load Cases，选中 Rock 和 Jump 复选框，如图 8-7 所示。

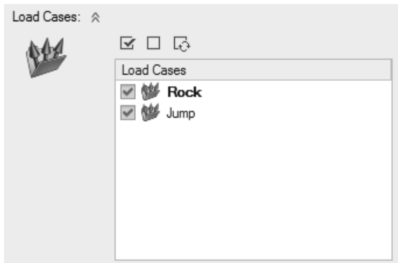


图 8-7

6）单击 Run 按钮执行分析，弹出运行状态窗口，分析完成后会出现一个绿色勾选标记，如图 8-8 所示。

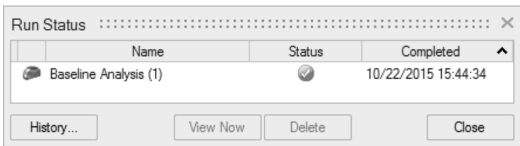


图 8-8

7）双击运行的名称查看结果，分析结果显示在分析探索器中，如图 8-9 所示。

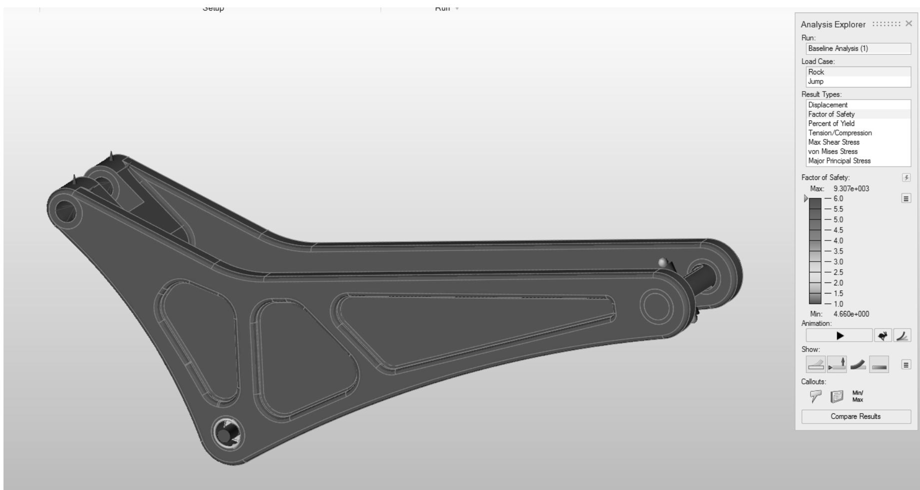


图 8-9

8.3 查看安全系数结果

完成用户偏好设置后，用户就可以进入到案例分析过程中。首先打开支架模型。

1）在分析探索器中单击显示/隐藏载荷和约束图标，隐藏模型视窗中的载荷和固定约束。

2）Rock 载荷工况下的安全系数结果类型显示在模型视窗中。在默认情况下，接近最小安全系数 1.0 的区域显示为红色，表示该部件最有可能失效。如果模型整体显示为蓝色，则表示该部件在此种载荷工况下没有失效的危险，如图 8-10 所示。

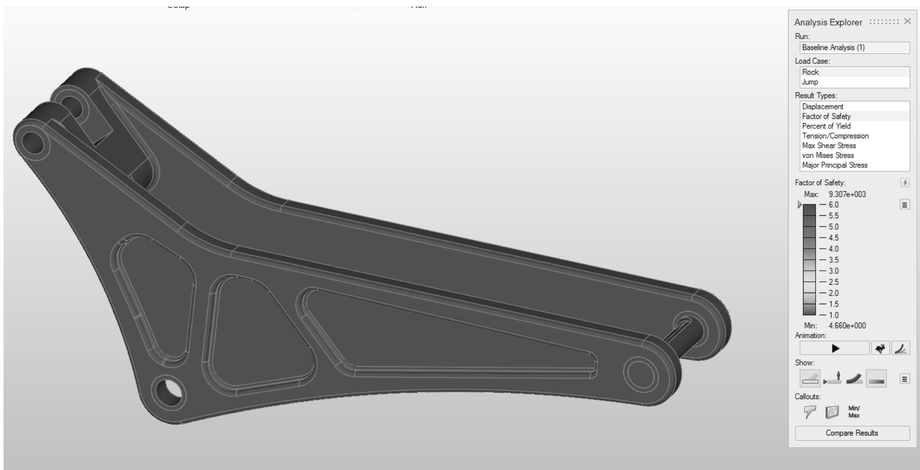


图 8-10

3）在分析探索器的载荷工况下，选择 Jump 载荷工况。模型中的粉色区域即为受到应力作用的区域，如图 8-11 所示。

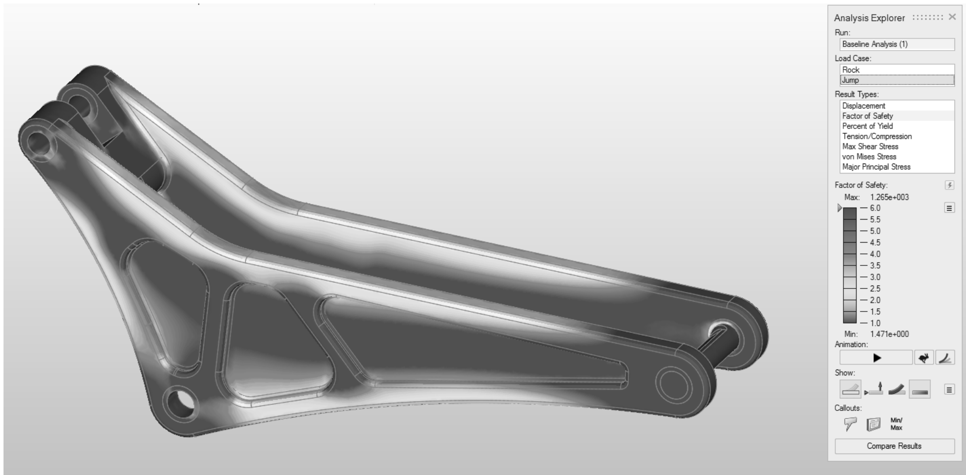


图 8-11

4）在分析探索器的安全系数下，单击并拖动图例中的滑块，直到模型刚好消失为止，如图 8-12 所示。此操作会遮盖模型中安全系数高于滑块内选定值区域。

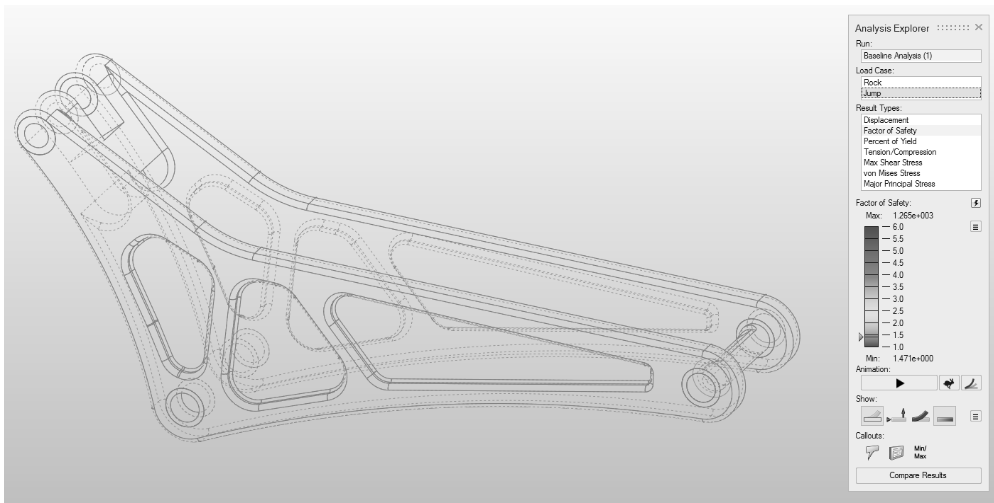


图 8-12

5）安全系数约为 1.4，由于该值大于 1.0，因此预计该模型在此种载荷工况下不会失效，如图 8-13 所示。

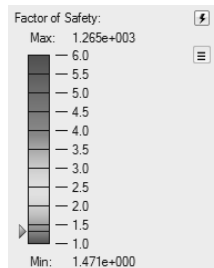


图 8-13

8.4　查看位移结果

1）在分析探索器的结果类型下，选择位移，如图 8-14 所示。

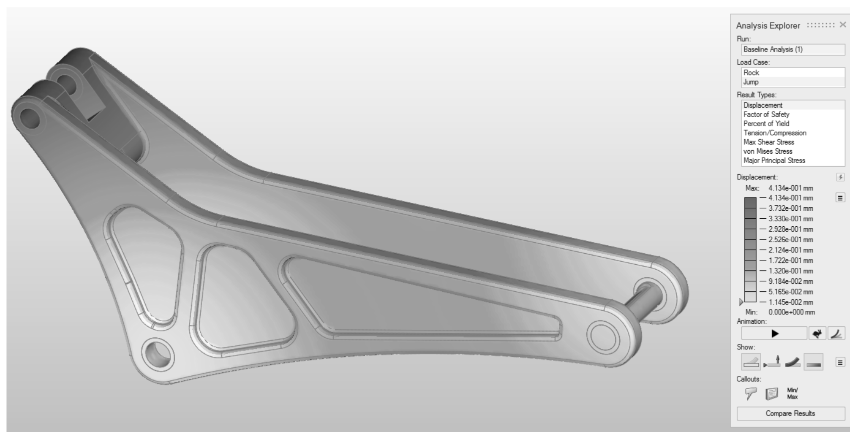


图 8-14

2）该模型的最大位移接近 0.4 mm，如图 8-15 所示。

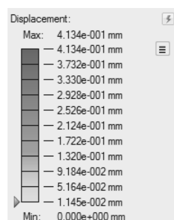


图 8-15

3）单击显示/隐藏变形状态图标，显示模型的变形状态，再次单击该按钮将其隐藏，如图 8-16 所示。

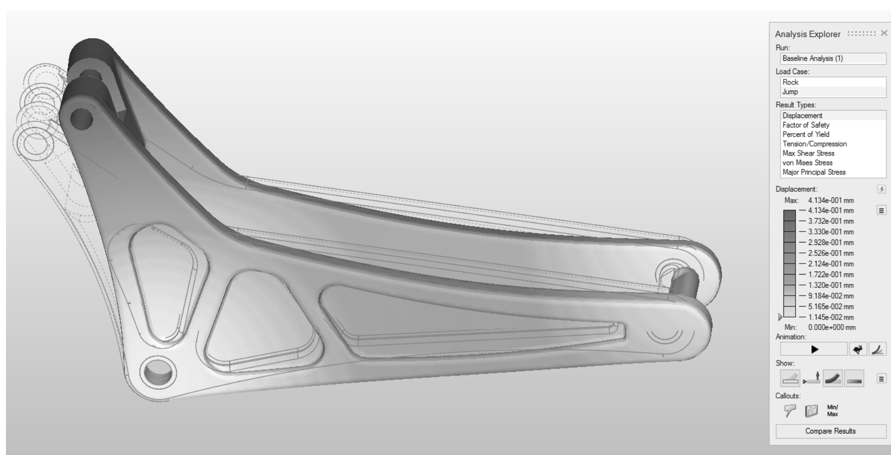


图 8-16

4）单击动画下面的 ▶ 按钮，使位移可视化。

5）单击 按钮，并使用滑块更改动画速度。

6）Inspire 会自动缩放位移动画，使其便于观看。单击 按钮，取消选定自动，然后输入一个值，以更改动画的比例。

7）单击 ■ 按钮停止动画。

8.5 查看米塞斯等效应力结果

1）如果 Jump 载荷工况仍为选中状态，将结果类型切换为米塞斯等效应力，如图 8-17 所示。

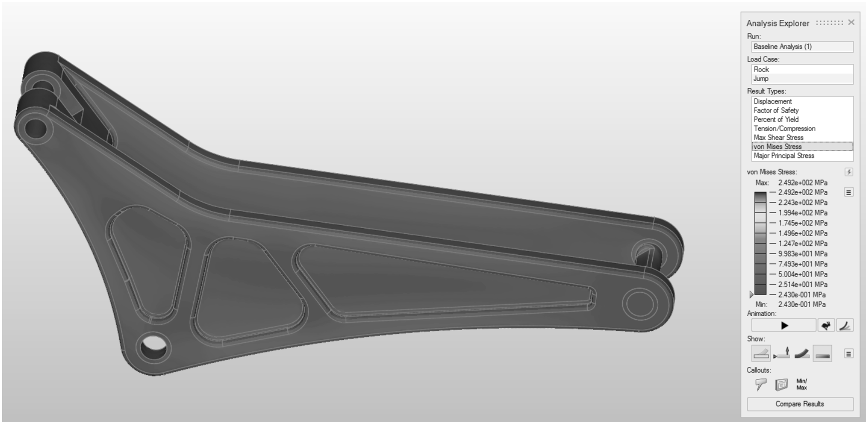


图 8-17

2）在默认情况下，显示该载荷工况下的峰值应力，如图 8-18 所示。单击分析探索器中图例旁边的 ☰ 按钮，然后选择铝。

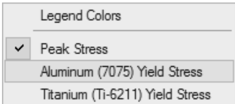


图 8-18

3）摇臂大部分显示为蓝色，但铰显示为红色，如图 8-19 所示。铰的材质是钛而非铝。

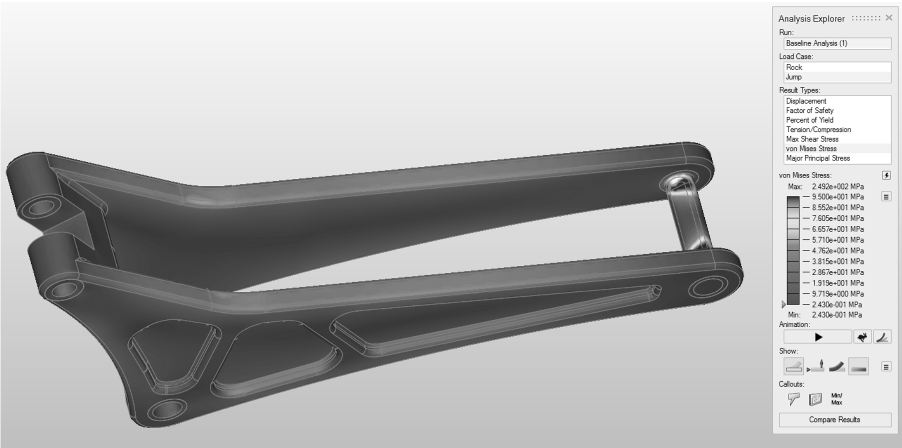


图 8-19

4）单击分析探索器中图例旁边的 ≡ 按钮，然后选择钛。

5）现在铰也显示为蓝色，显示效果良好，如图 8-20 所示。

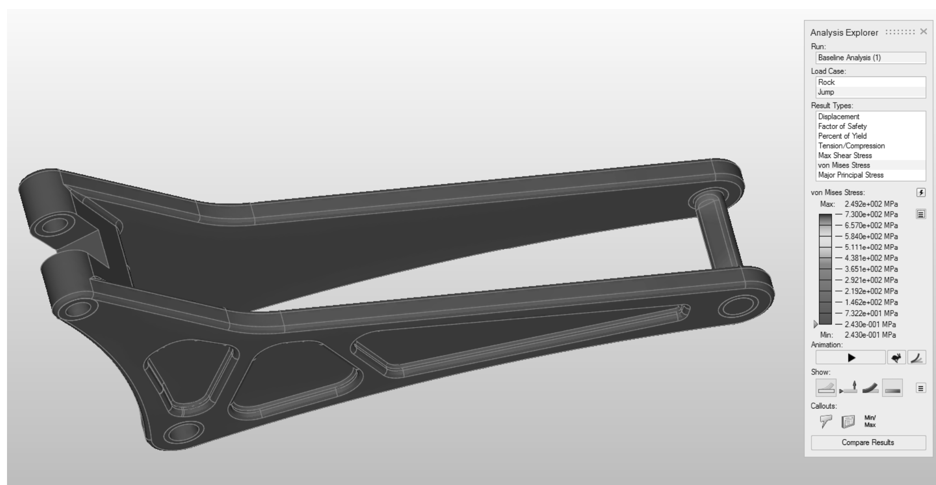


图 8-20

8.6 查看拉伸与压缩的结果

1）选择结果类型下的拉伸与压缩。模型中显示为橙色的区域受到张力影响，绿色区域则受压缩力影响，如图 8-21 所示。

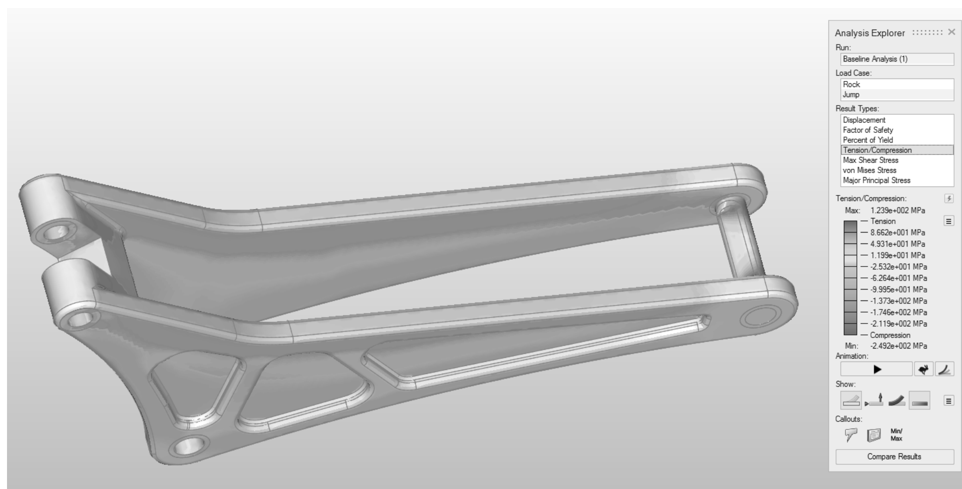


图 8-21

2）单击显示/隐藏初始形状图标，显示或隐藏作为参考的初始形状。

3）单击显示/隐藏云图图标，显示或隐藏云图。单击云图选项按钮 ≡ 关闭混合云图或动画插值。

4）要更改用于该结果类型或其他结果类型的图例颜色，请单击图例旁边的图例选项按钮☰，然后选择图例颜色，偏好设置窗口将打开，通过该窗口即可更改每一种结果类型的默认图例颜色，如图 8-22 所示。

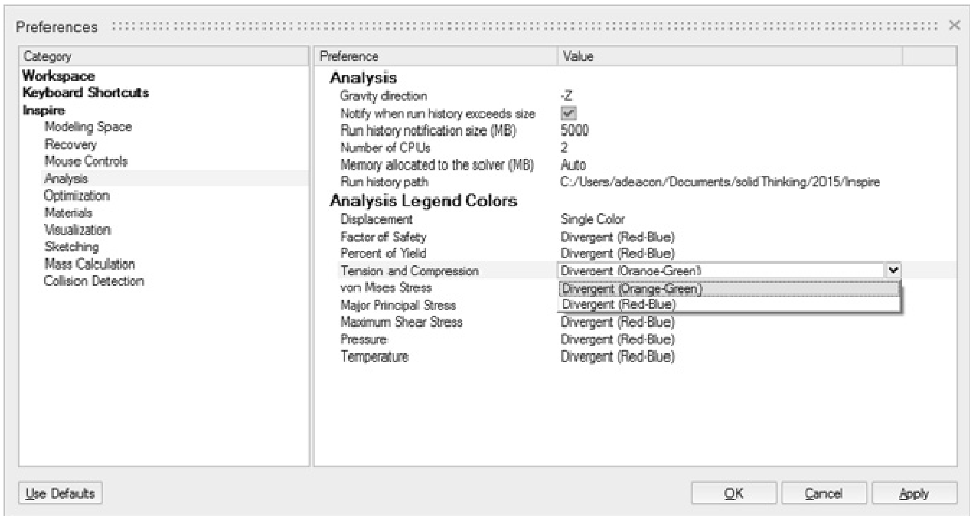


图 8-22

5）操作完成后，关闭偏好设置窗口和分析探索器。

8.7 扩展阅读

1. 数据明细

使用数据明细显示模型目标点的分析结果。单击分析探索器中的 图标创建、显示和隐藏数据明细。数据明细只适用于当前选中的运行和载荷工况，如图 8-23 所示。

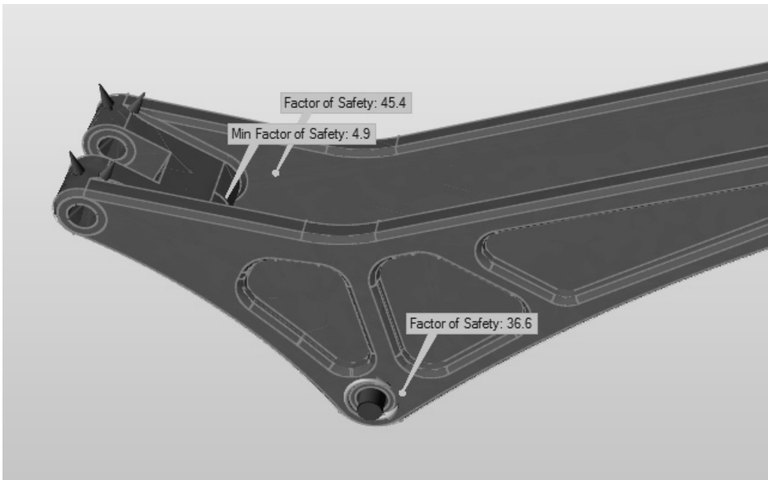


图 8-23

分析探索器底部的数据明细图标的作用如下。

1）：打开和关闭数据明细。激活后，在模型上选一个目标点创建数据明细。

2）：显示一个表格，表中所示为已创建的所有数据明细。

3）：自动创建一个数据明细，显示所选结果类型相关最小值和最大值的出现位置。

2. 创建数据明细

1）运行分析并使用分析探索器查看结果。

2）选择一种结果类型。

3）单击数据明细下的 图标。

4）在模型上选择一个目标点创建数据明细，可以创建多个数据明细。

5）用鼠标右键单击数据明细，然后从右键菜单中选择 Result Types，选择要显示的结果类型，如图 8-24 所示。

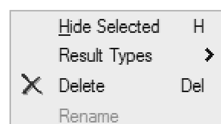


图 8-24



隐藏一个数据明细的方法：选中该数据明细，然后按〈H〉键，或者用鼠标右键单击该数据明细，打开右键菜单。

3. 数据明细表

单击 图标显示一个表格，表中所示为已创建的所有数据明细，其中包含多种结果类型的值，如图 8-25 所示。每个数据明细都对应选中的运行和载荷工况。

Callouts

Name	Displacement	Factor of Safety	von Mises Stress
Callout 1	1.393e-001 mm	2.4	3.914e+001 MPa
Callout 2	1.385e-001 mm	3.6	2.667e+001 MPa
Callout 3	1.561e-001 mm	4.8	1.966e+001 MPa

图 8-25

- 单击 图标，在模型视窗中显示或隐藏数据明细。
- 用鼠标右键单击表中的一个列标题，更改要显示的结果类型，如图 8-26 所示。

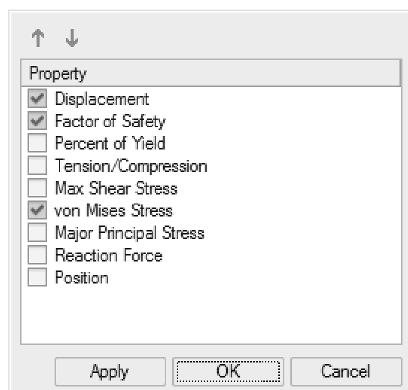


图 8-26

第 9 章

简化几何体



几何功能区上的简化工具可用于删除通常不便于对设计空间进行修改以便进行优化的特征。本章将介绍如何通过删除凹处、圆角和倒角来修改设计空间。

本章学习要点如下：

- **查找和删除凹处和孔**。
- **查找和删除圆角和倒角**。
- **推/拉内表面**。

9.1 打开几何体简化模型

1）打开 Inspire。

2）单击文件图标中的打开模型。

3）在打开文件窗口中，选择 Tutorials 文件夹。

4）选择文件 Geometry Simplification.x_t 并打开。调整视图，使模型位置如图 9-1 所示。

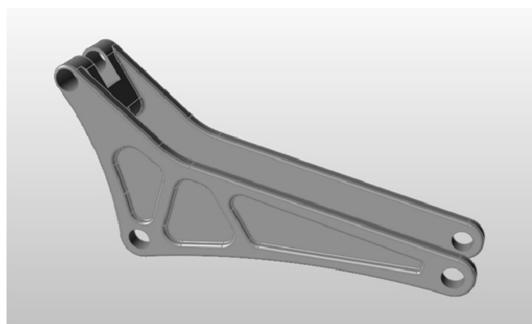


图 9-1

5）确保应用程序右下角的单位系统选择器已设置为 MPA (mm t N MPa)，如图 9-2 所示。

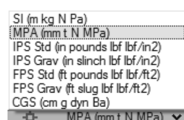


图 9-2

9.2 删除孔和凹处

1）选择几何功能区的简化工具。

2）从二级功能区中选择孔工具。

3）Inspire 会自动查找模型中所有的孔和凹处，并使其显示为红色。显示在孔图标上方的数字代表查找到的孔和凹处的总数目，在本例中是 12，如图 9-3 所示。

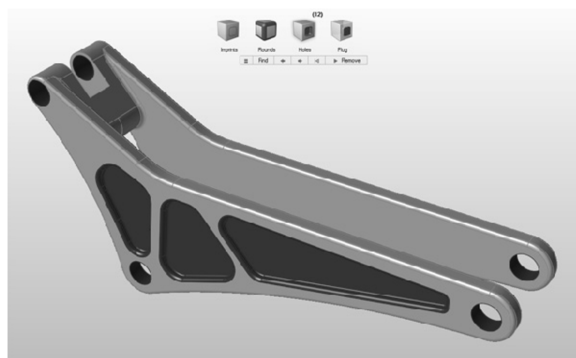


图 9-3

4）将鼠标悬停在其中一个凹处上。注意：此时鼠标光标会发生改变，并带有一个勾选标记。

5）单击该凹处将其删除，如图 9-4 所示。



图 9-4

6）继续单击另外 5 个凹处（每一侧有 3 个），从而将其删除，如图 9-5 所示。切勿删除孔。

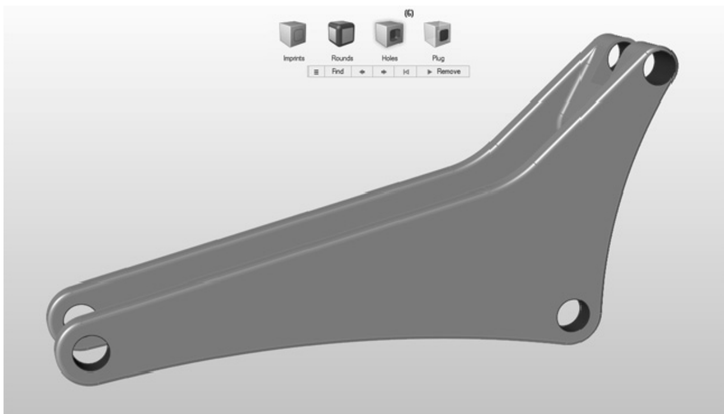


图 9-5

7）操作完成后，用鼠标右键单击退出该工具。

9.3 查找圆角和倒角

完成用户偏好设置后，用户就可以进入到案例分析过程中。首先打开支架模型。

1）选择几何功能区的简化工具。

2）从二级功能区中选择圆角工具。

3）Inspire 会自动查找模型中所有的圆角和倒角。显示在圆角图标上方的数字表示已找到的倒角串（不是单个倒角）的数目，如图 9-6 所示。在可能的情况下，倒角应成串删除，而不

是单个删除。

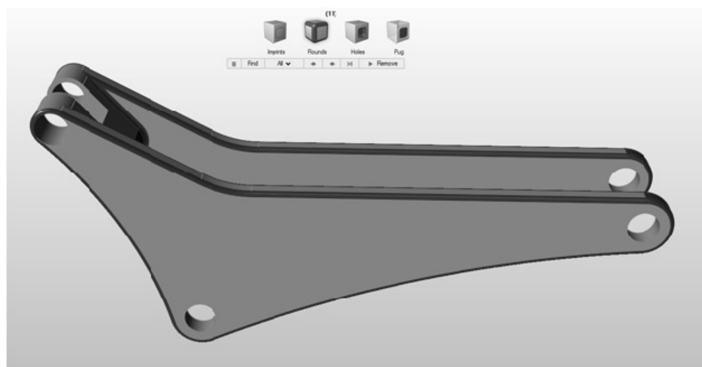


图 9-6

4）注意：默认搜索值可能会自动查找到超过预期数目的倒角和圆角。单击操作栏上的 ≡ 按钮，然后选择寻找选项，如图 9-7 所示。

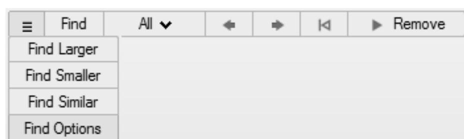


图 9-7

5）将半径的最大值从 32.5 mm 改为 5 mm，然后按〈Enter〉键，如图 9-8 所示。此操作可对查找结果进行过滤，只有半径为 0～5 mm 的倒角和圆角才会被选中。



图 9-8

6）应用过滤器后，查找到的圆角和倒角串数目下降至 6 个，如图 9-9 所示。

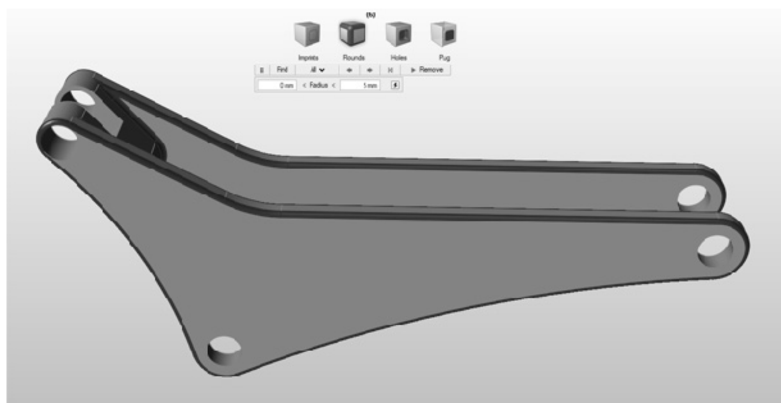


图 9-9

9.4 删除圆角和倒角

1）单击删除 按钮 ▶ Remove ，删除所有倒角和圆角，如图 9-10 所示。注意：并非所有倒角都会被删除。

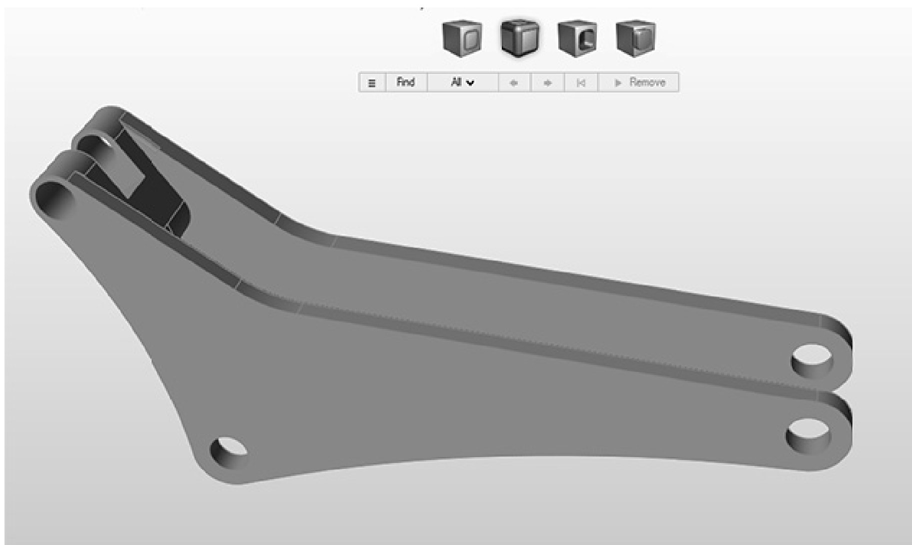


图 9-10

2）放大模型左上角出现的单个倒角。将鼠标悬停在该倒角上，然后将其选中，如图 9-11 所示。

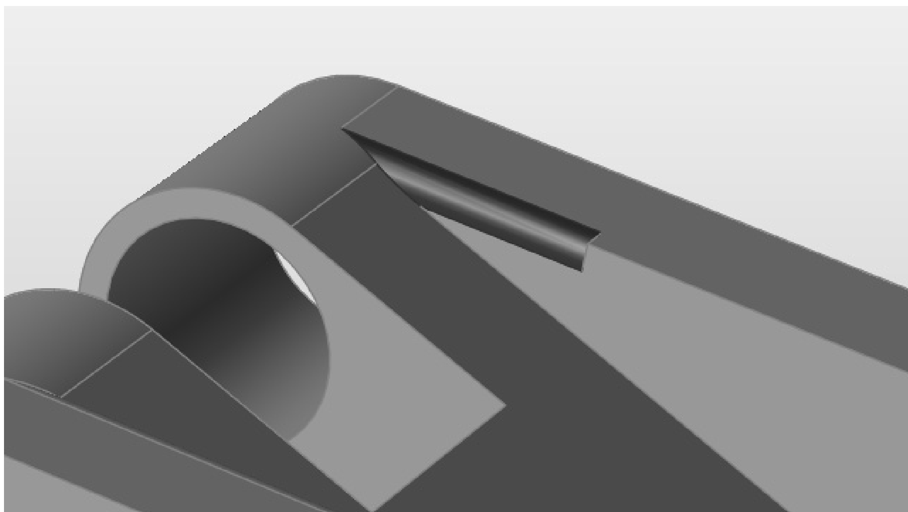


图 9-11

3）再次单击该倒角，将其删除，如图 9-12 所示。

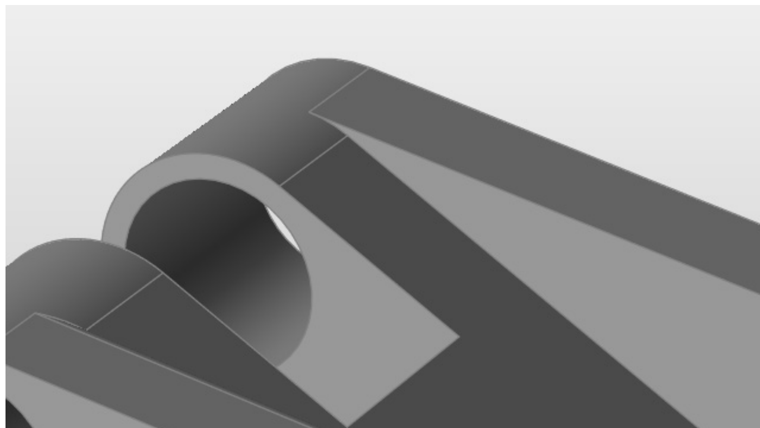


图 9-12

4）缩小并旋转该模型，将鼠标悬停在图 9-13 所示的圆角上。

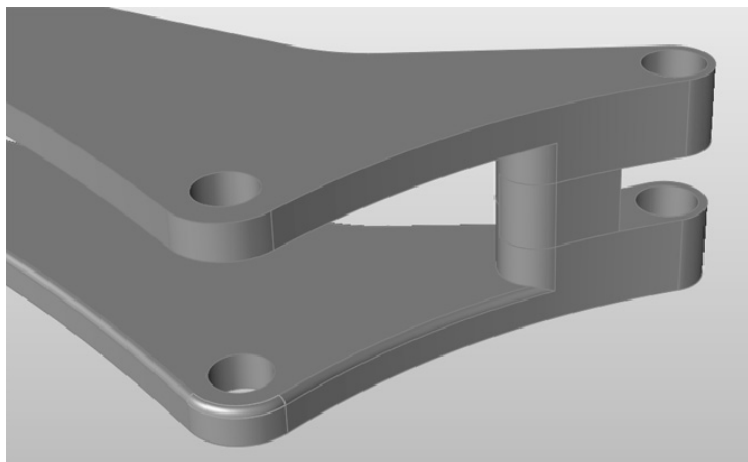


图 9-13

5）双击该圆角，如图 9-14 所示。注意：整个圆角串都会被选中。

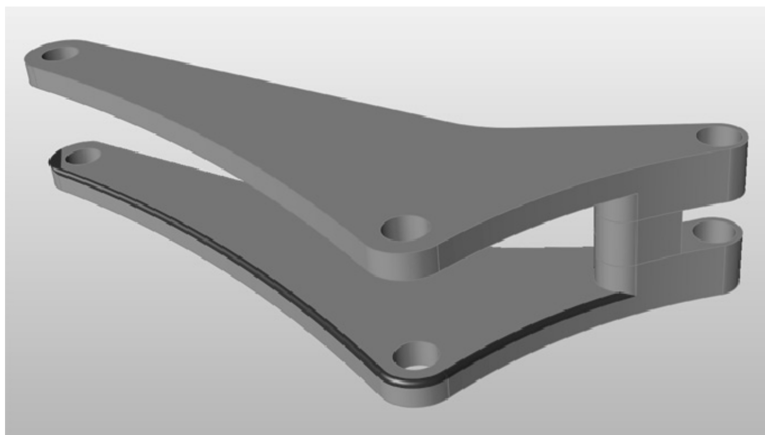


图 9-14

6）再次单击鼠标左键，删除该圆角串，如图 9-15 所示。

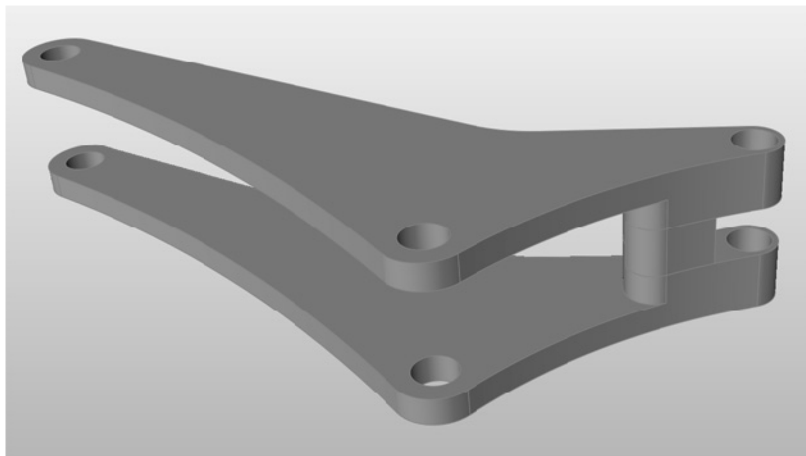


图 9-15

7）旋转模型，然后删除模型另一侧的圆角串，如图 9-16 所示。通过下列方式可选定、取消选定和删除单个圆角或圆角串：

- 单击某个圆角或倒角将其选中。
- 如果存在多个毗邻的圆角或倒角，双击其中一个即可选中整串。选择相邻的圆角或倒角可将其添加到串中。
- 再次单击选定的圆角或倒角将其删除。如果其为整串中的一部分，则会删除整串。
- 按住〈Ctrl〉键并单击，以取消选定一个圆角或倒角。按住〈Ctrl〉键并双击，以取消选定整串圆角或倒角。

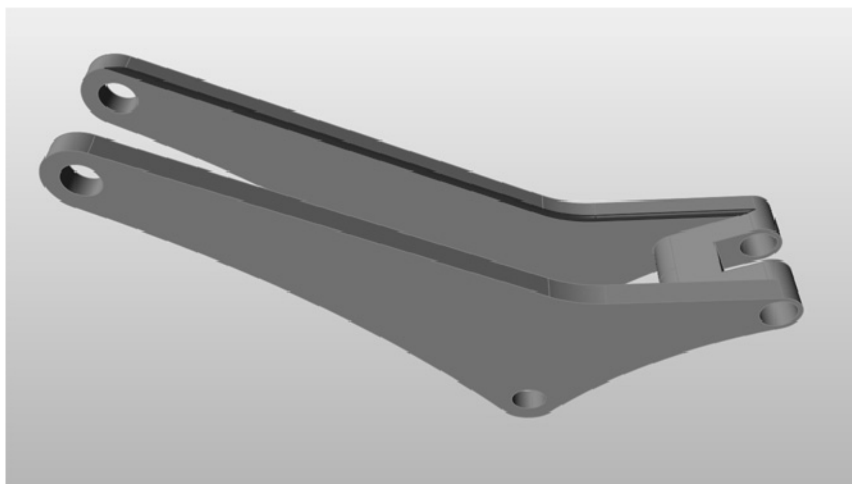


图 9-16

8）现在圆角和倒角已全部删除，如图 9-17 所示。操作完成后，用鼠标右键单击退出该工具。

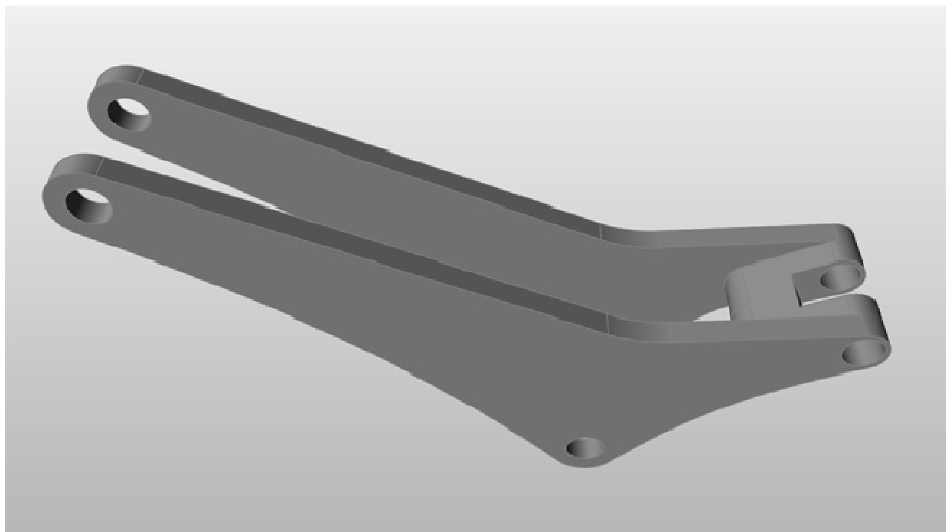


图 9-17

9.5 推/拉内表面

1）删除圆角和倒角后，还可以推/拉内表面。选择几何功能区上的推/拉工具。

2）单击图 9-18 所示的表面。

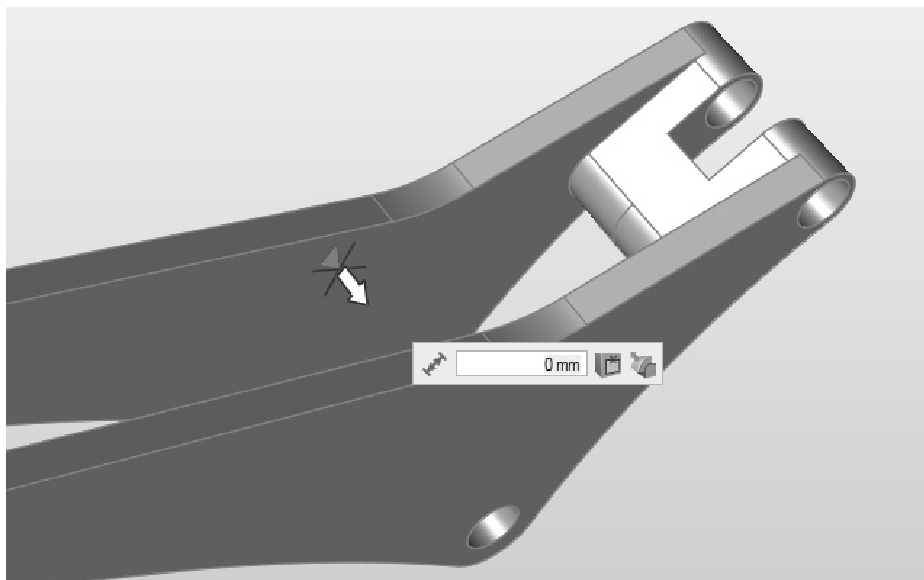


图 9-18

3）单击棱锥体并将其拖动到外表面上，如图 9-19 所示。该操作将重新定义推/拉操作的起点。

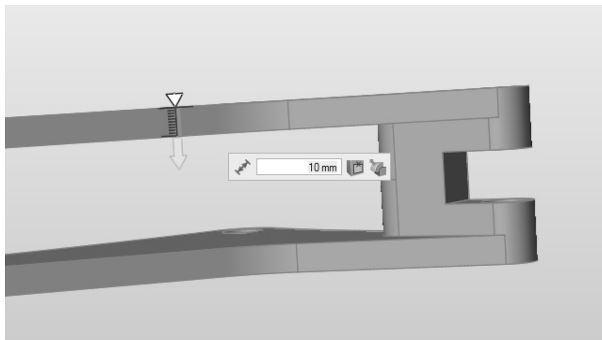


图 9-19

4）在小对话框中输入“12”，然后按〈Enter〉键确认，如图 9-20 所示。

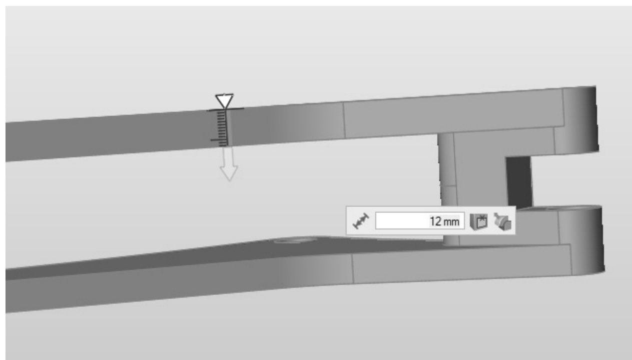


图 9-20

5）对其他内表面重复推/拉步骤，将其拉伸为 12 mm，如图 9-21 所示。

6）操作完成后，用鼠标右键单击退出该工具。

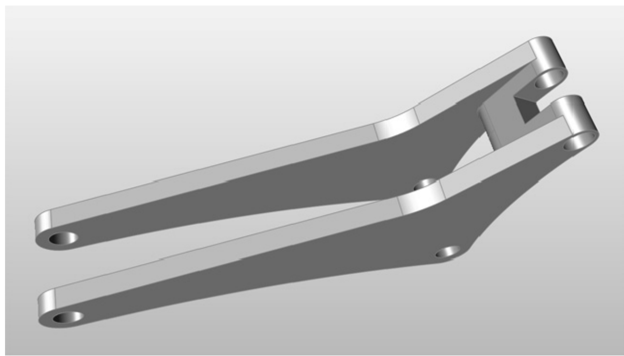


图 9-21

9.6 扩展阅读

1. 圆角

使用圆角工具 查找和删除圆角（凸角）和倒角（凹角）表面。可以单击删除该工具

查找到的所有圆角（或倒角），或通过逐一选定和取消选定这些圆角（或倒角）来指定删除哪些圆角。

圆角工具用于选择圆角或倒角，还可用于查找所有较大尺寸、较小尺寸或类似尺寸（±5%）的圆角或倒角。该工具还可用于识别圆角或倒角串，但可能无法一次性将这些串全部删除。一般情况下，建议先删除较小的倒角，然后删除较大的倒角，最后删除圆角。当无法继续进行删除操作时，应使用其他建模工具和策略以完成几何体的简化。

2. 孔

孔工具 用于查找和删除孔和凹处，还可以用于查找凸起的区域，如刻字。

孔工具将通过向上并朝外表面进行搜索，以便识别相连的孔或凹处。填塞工具和孔工具之间的主要区别在于前者用于创建填补孔和凹处的新零件，而后者则使其融合到周围的零件中。

3. 原理

圆角和孔在后台都是通过删除选中面或所识别的面后将周围几何图形延伸相交，以得到简化后的封闭体。

由以上特性不难发现：如果需要被简化的面组周围边界延伸后无法形成封闭体，则对象无法被简化。如图 9-22 所示的圆角位置就无法被删除。

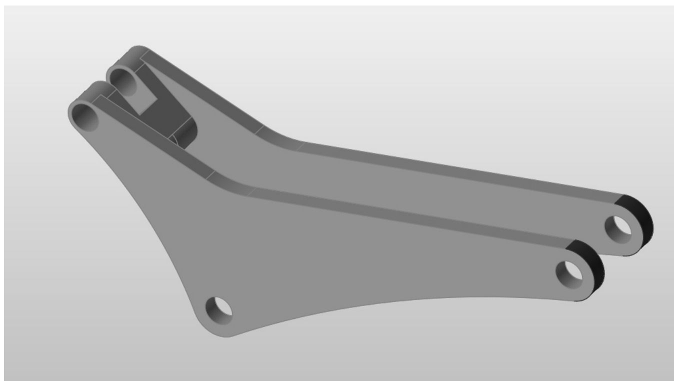


图 9-22

延长两侧边线不难看出此两边线通过延伸无法形成相交（见图 9-23），而另两侧面也为平行面，所以如果删除这一圆角将无法形成闭合体。如面对此类模型，用户可以手动建立草图后推拉实体以简化或重构具体局部。

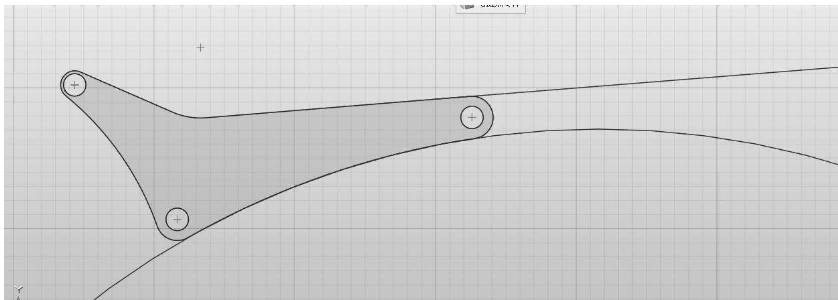


图 9-23

第 10 章

分析生成的形状



完成拓扑优化后，如果能立刻进行有限元分析，则能够帮助使用者定量判断拓扑优化结果是否合格。本章将对此进行详细介绍。

本章学习要点如下：

- **导入和查看优化结果**。
- **分析生成的形状**。
- **查看重新分析的结果**。
- **使面适应生成的形状**。

10.1 打开“生成设计概念模型”

1）打开 Inspire。

2）单击文件图标中的打开模型，如图 10-1 所示。

3）在打开文件窗口中，选择 Tutorials 文件夹。

4）选择文件 Generating Design Concept.stmod 并打开。

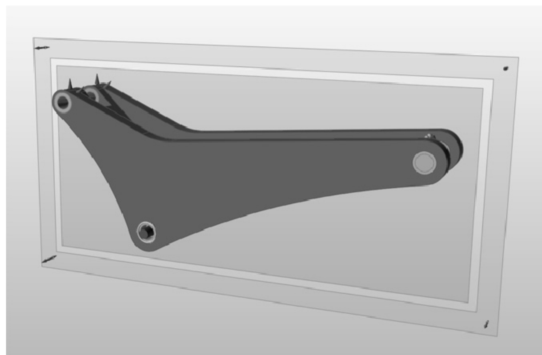


图 10-1

5）如果模型不可见，则按〈F2〉键打开模型浏览器，如图 10-2 所示。

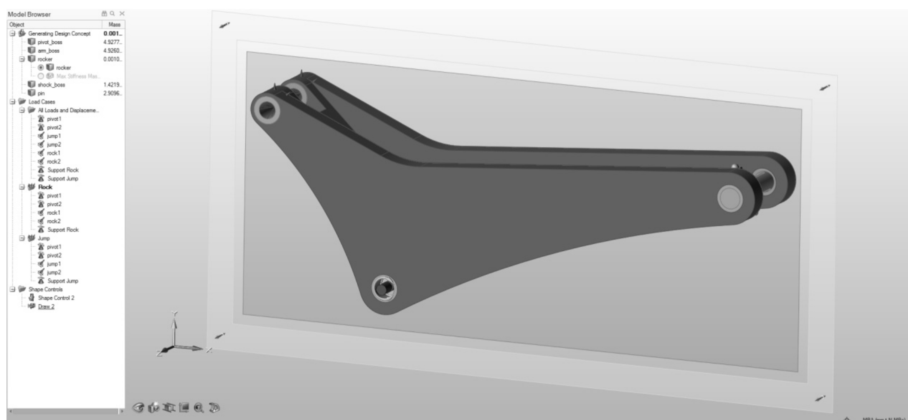


图 10-2

6）确保应用程序右下角的单位系统选择器已设置为 MPA (mm t N MPa)，如图 10-3 所示。

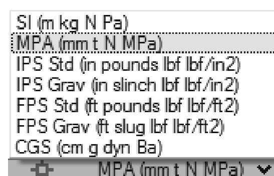


图 10-3

10.2 查看优化结果

1）单击功能区的“结构仿真”菜单。

2）之前已运行过一次优化，并和模型保存在一起。单击优化图标上的显示优化结果查看结果。

3）使用形状探索器上的拓扑滑块找到生成的形状完全与之连接的那个点，如图 10-4 所示。分析结果将根据滑块位置的不同而不同。

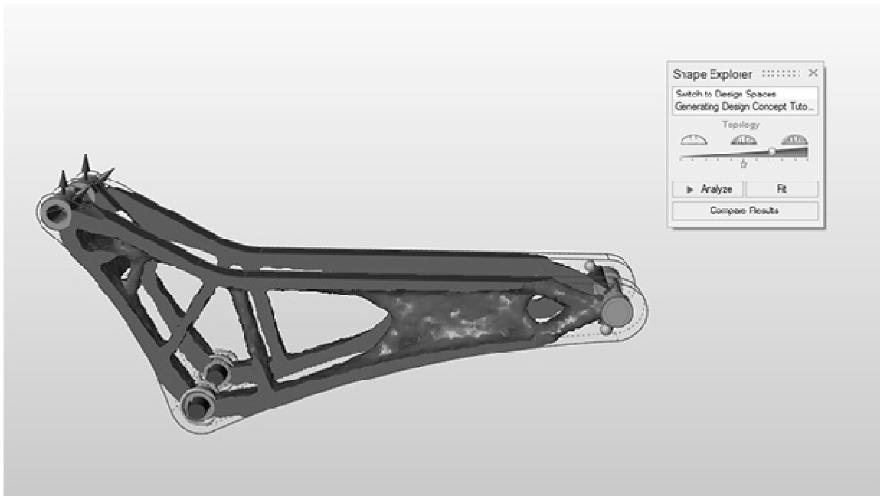


图 10-4

10.3 分析生成的形状

完成用户偏好设置后，用户就可以进入到案例分析过程中。首先打开支架模型。

1）单击形状探索器上的分析按钮，分析所生成的形状，如图 10-5 所示。

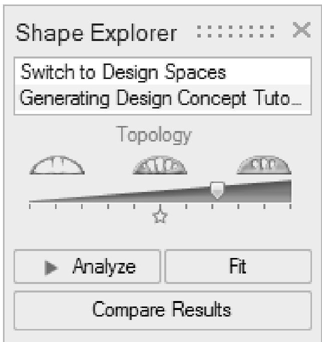


图 10-5

2）此时弹出运行状态窗口，分析完成后会出现一个绿色勾选标记，如图 10-6 所示。

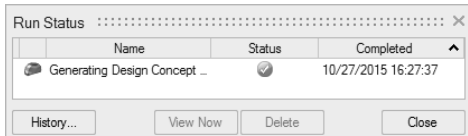


图 10-6

3）双击运行名称，查看分析探索器中显示的分析结果，如图 10-7 所示。

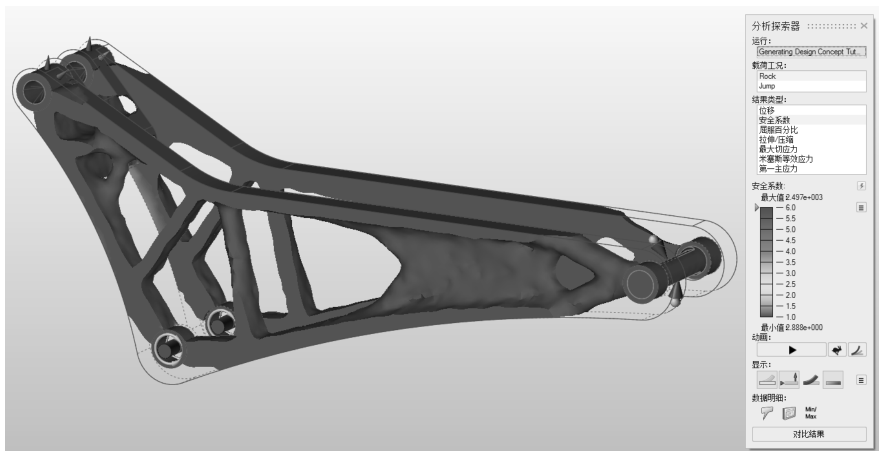


图 10-7

10.4　查看安全系数结果

1）Rock 载荷工况下的安全系数结果类型显示在模型视窗中。默认情况下，接近最小安全系数 1.0 的区域显示为红色，表示该部件最有可能失效。如果模型整体显示为蓝色，则表示该部件在此种载荷工况下没有失效的危险，如图 10-8 所示。

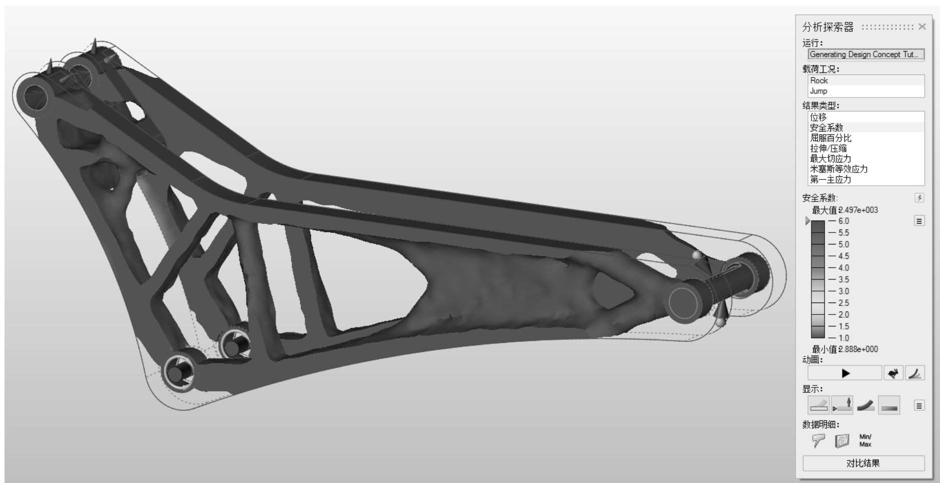


图 10-8

2）在分析探索器的载荷工况下，选择 Jump 载荷工况。模型中的粉色区域即为受到应力作用的区域，如图 10-9 所示。

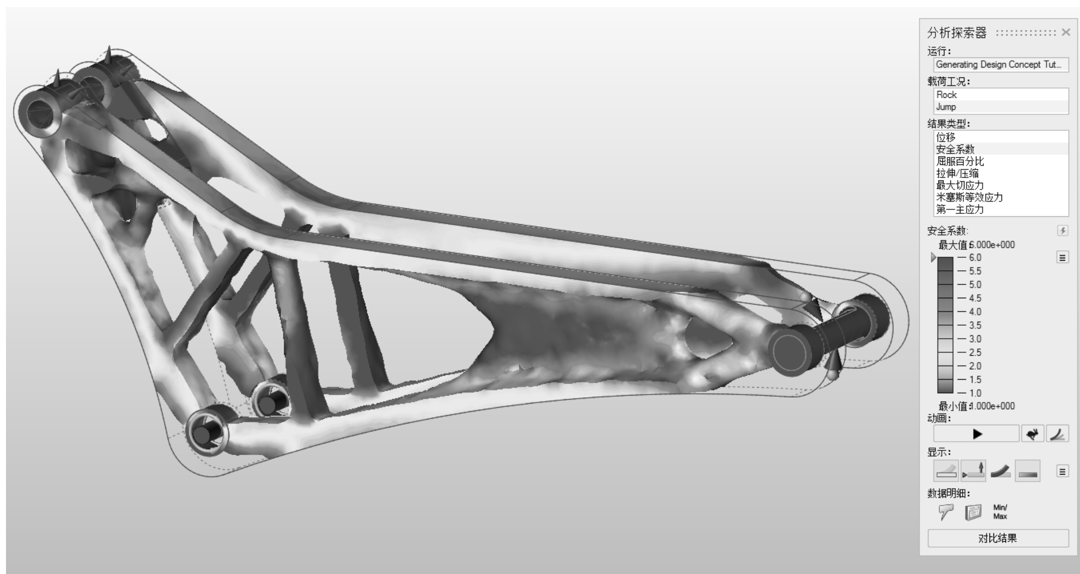


图 10-9

3）在分析探索器的安全系数下，单击并拖动图例中的滑块，直到模型刚好消失为止，如图 10-10 所示。该操作会遮盖模型中安全系数高于滑块内选定值区域。

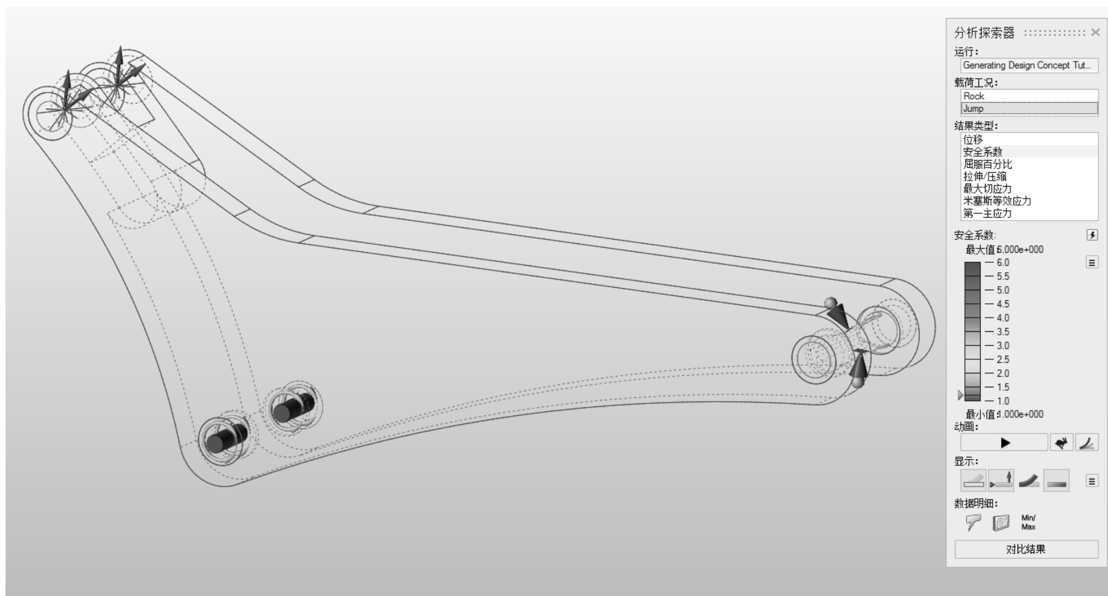


图 10-10

4）安全系数约为 1.2，如图 10-11 所示。由于该值大于 1.0，预计该模型在此种载荷工况下不会失效。

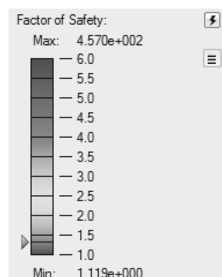


图 10-11

10.5 查看位移结果

1）在分析探索器的结果类型下选择“位移”，如图 10-12 所示。

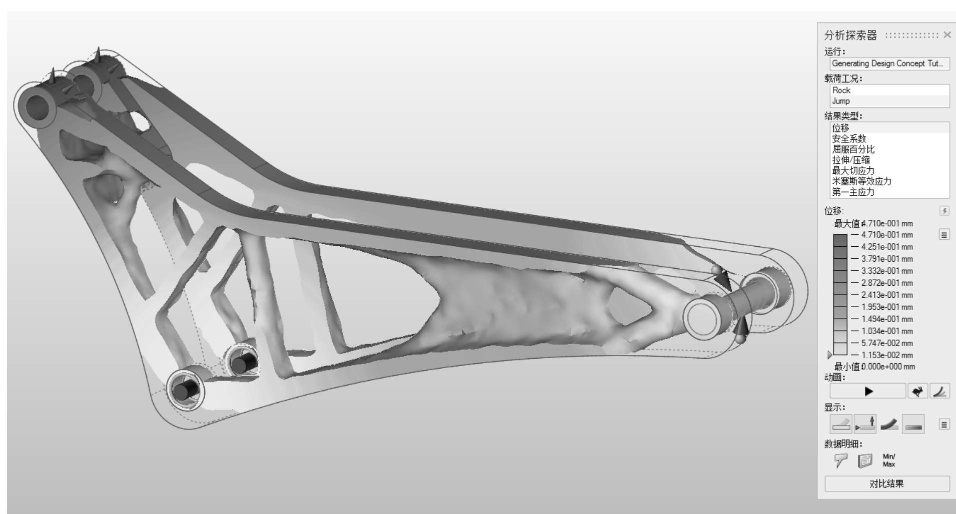


图 10-12

2）该模型的最大位移接近 0.5 mm，如图 10-13 所示。

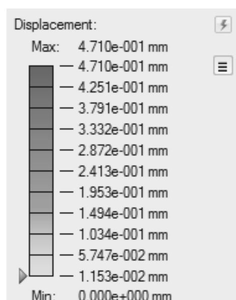


图 10-13

3）单击动画下面的 ▶ 按钮，使位移可视化。

4）单击 ■ 按钮停止动画。

10.6 查看米塞斯等效应力结果

1）如果 Jump 载荷工况仍为选中状态，则将结果类型切换为米塞斯等效应力，如图 10-14 所示。

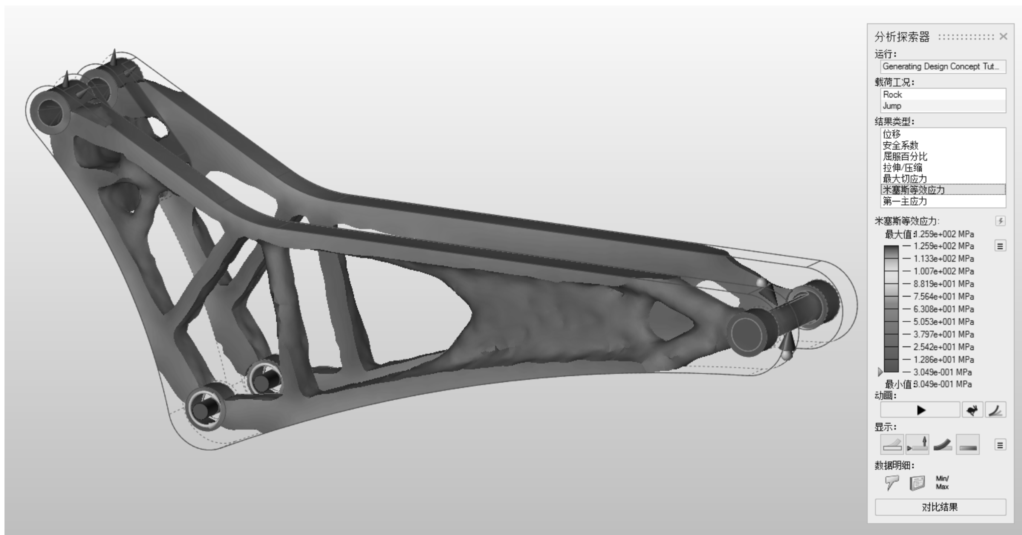


图 10-14

2）在分析探索器中单击显示/隐藏载荷和约束图标 。

3）旋转模型至合适角度，以确认不存在隐藏的红色区域，如图 10-15 所示。

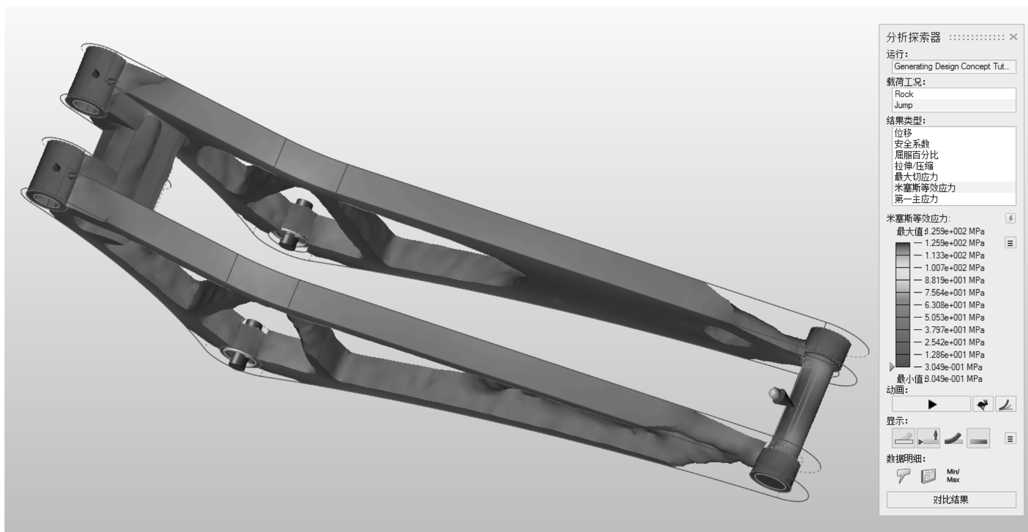


图 10-15

4）在分析探索器中再次单击显示/隐藏载荷和约束图标 。

10.7 查看拉伸与压缩的结果

1）选择结果类型下的拉伸/压缩。模型中显示为橙色的区域受到张力影响，绿色区域则受压缩力影响，如图 10-16 所示。

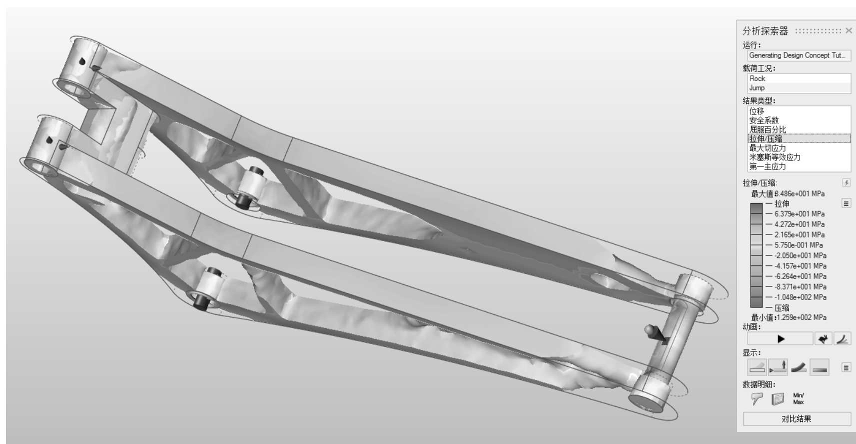


图 10-16

2）单击鼠标右键退出分析探索器。

10.8 打开质量计算

1）右击模型浏览器中的列标题，如图 10-17 所示。

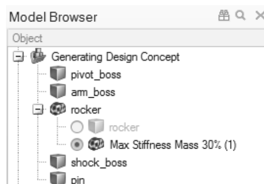


图 10-17

2）选中 Mass 复选框，单击 OK 按钮，如图 10-18 所示。

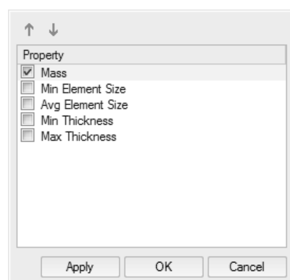


图 10-18

3）零件质量将会显示在模型浏览器中，如图 10-19 所示。非零质量表示相应的零件为实体。

Model Browser

Object	Mass
Generating Design Concept	**0.0004811 t**
pivot_boss	4.92779E-006 t
arm_boss	4.92602E-006 t
rocker	0.00042793 t
rocker	
Max Stiffness Mas...	
shock_boss	1.42194E-005 t
pin	2.90967E-005 t

图 10-19

10.9　使面适应生成的形状

1）双击零件打开形状探索器，如图 10-20 所示。

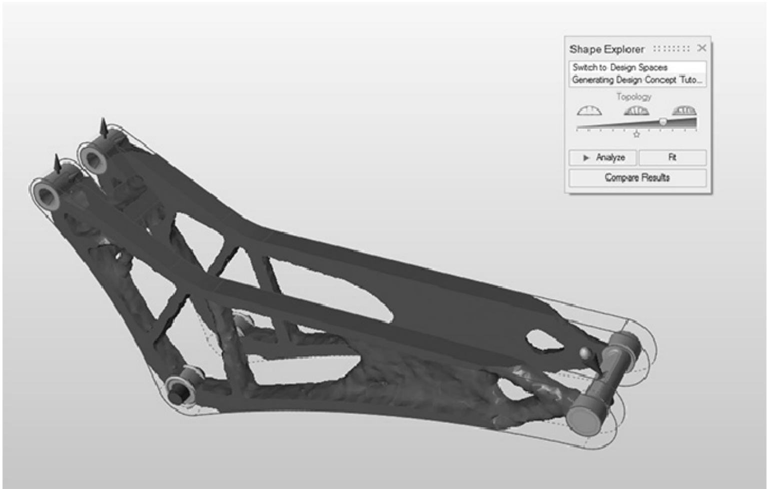


图 10-20

2）拖动形状探索器上的拓扑滑块，使其位于五角星右侧第一个刻点处，如图 10-21 所示。

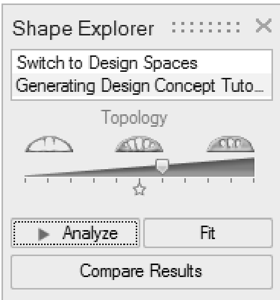


图 10-21

3）单击形状探索器上的自适应按钮，Inspire 会尝试使面适合生成的形状。

4）此时弹出运行状态窗口，自适应操作完成后，将会出现一个绿色勾选标记，如图 10-22 所示。

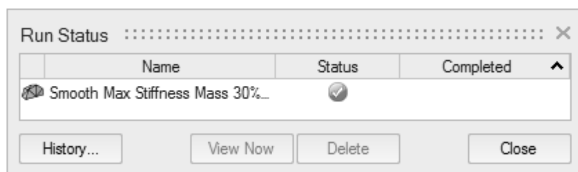


图 10-22

5）双击运行的名称查看自适应操作的结果，如图 10-23 所示。

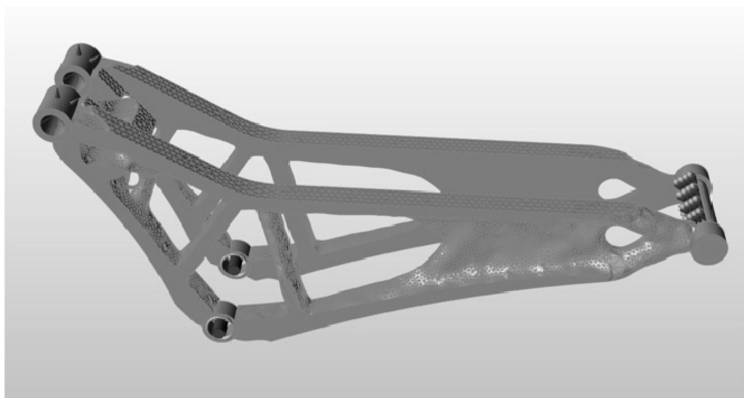


图 10-23

6）结果虽然看上去已连接，但却生成了一个非实体零件，因为模型浏览器中的零件转换质量为零，如图 10-24 所示。

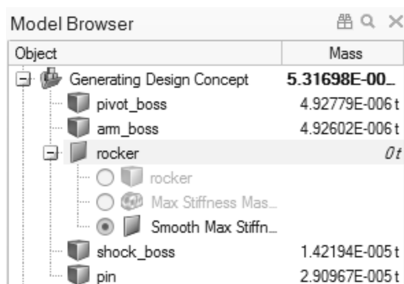


图 10-24

10.10 修改生成的形状并再次对面进行自适应操作

这时，有两个方案可以改进自适应操作的结果：①使用补块工具创建实体；②使用形状探索器添加其他材料，这样做可以使生成的形状更好地相连接。

1）单击优化图标上的显示优化结果查看初始形状，如图 10-25 所示。

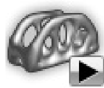


图 10-25

2）拖动形状探索器上的拓扑滑块，使其位于五角星右侧第三个刻点处，如图 10-26 所示。

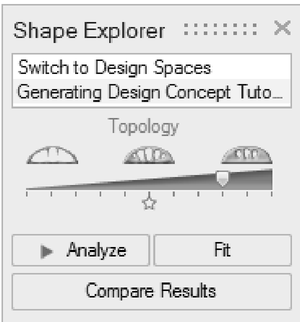


图 10-26

3）单击形状探索器上的自适应按钮。

4）弹出运行状态窗口，自适应操作完成后，将会出现一个绿色勾选标记。

5）双击运行的名称显示结果。

6）此次自适应操作的结果有所改善，并且还生成了一个实体零件，因为模型浏览器中的零件转换质量并不为零，如图 10-27 所示。

Model Browser

Object	Mass
Generating Design Concept	**0.00054895 t**
pivot_boss	4.92779E-006 t
arm_boss	4.92602E-006 t
rocker	0.00049578 t
rocker	
Max Stiffness Mas...	
Smooth Max Stiffn...	
Smooth Max Stiffn...	
shock_boss	1.42194E-005 t
pin	2.90967E-005 t

图 10-27

10.11 扩展阅读

1. 使面适合优化后的形状

单击自适应按钮，Inspire 会使面适应生成的形状。请注意，该操作并不一定生成实体。

或者，右击优化后的形状并从右键菜单中选择使曲面适合优化后的形状。生成的面模型可导出到大多数 CAD 系统中。

如果自适应操作成功，则结果会作为转换显示在模型浏览器中，名称前将出现“smooth”（平滑）字样。自适应操作仅可被施加到已优化且保存在 Inspire 2014 或更高版本中的零件上。

2. 分析或自适应操作失败的解决方案

导致分析或自适应操作失败的原因通常有以下两种。

1）优化后的形状中存在分离材料：在此种情况下，使用形状探索器中的拓扑滑块增加材料量，即可解决该问题。

2）初始优化过于粗糙：在此种情况下，减小最小厚度，重新运行优化，即可解决该问题。

第 11 章

创建连接



连接将定义零件与零件的接触关系，使用包括绑定、自由、滑动、螺栓和铰链等方式尽量还原零件间的实际关系。这种方法还具有批量定义方便快捷、计算量小的特点，并能保持与实际情况较高的一致性。

本章学习要点如下：

- **查看和定义接触**。
- **查找单个和对齐了的孔**。
- **自动创建螺栓连接**。
- **创建螺母和螺栓**。
- **创建螺栓**。
- **螺栓接地**。

11.1 打开四轴飞行器模型

1）打开 Inspire。

2）单击文件图标中的打开模型。

3）在打开文件窗口中，选择 Tutorials 文件夹。

4）选择文件 Quadcopter.stmod 并打开，如图 11-1 所示。

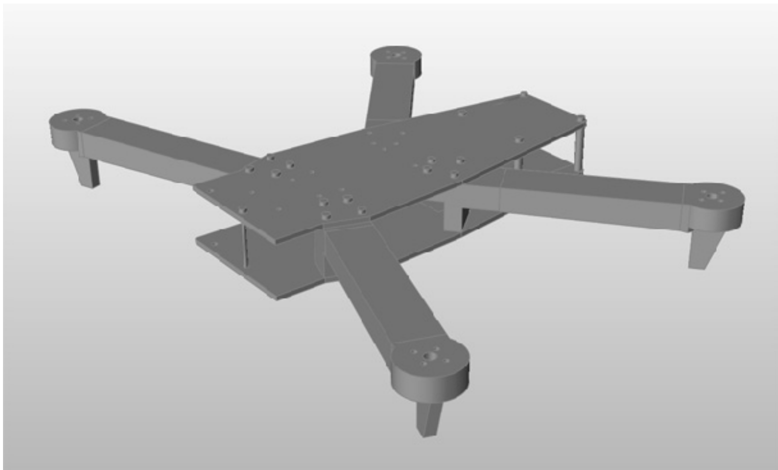


图 11-1

11.2 查看接触

1）选择结构仿真功能区的接触工具。

2）此时弹出一个操作栏，且该工具会自动找出零件接触的位置，如图 11-2 所示。

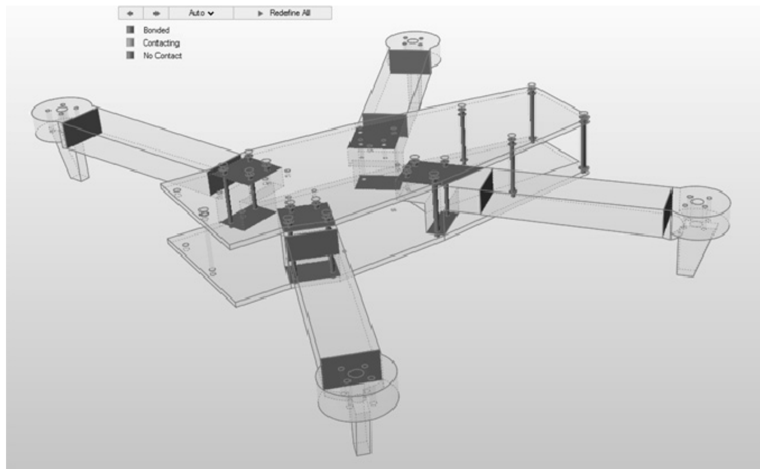


图 11-2

找出的接触总数显示在接触图标上方的计数器中。绑定接触显示为红色，接触显示为绿色。默认情况下，如果两个零件通过螺栓连接或铰接连接起来，则认定为接触；否则，将认定为绑定接触。在本例中，没有出现螺栓连接或铰接连接，因此所有接触都被认定为绑定接触（红色）。

3）单击鼠标右键关闭接触工具。

11.3 寻找对齐的孔

下面创建一些螺栓连接把相互接触的零件连接起来。

1）选择结构仿真功能区的螺栓连接工具。

2）此时弹出一个操作栏，且该工具会自动找出可以放置螺栓连接的位置，并以红色高亮显示，如图 11-3 所示。

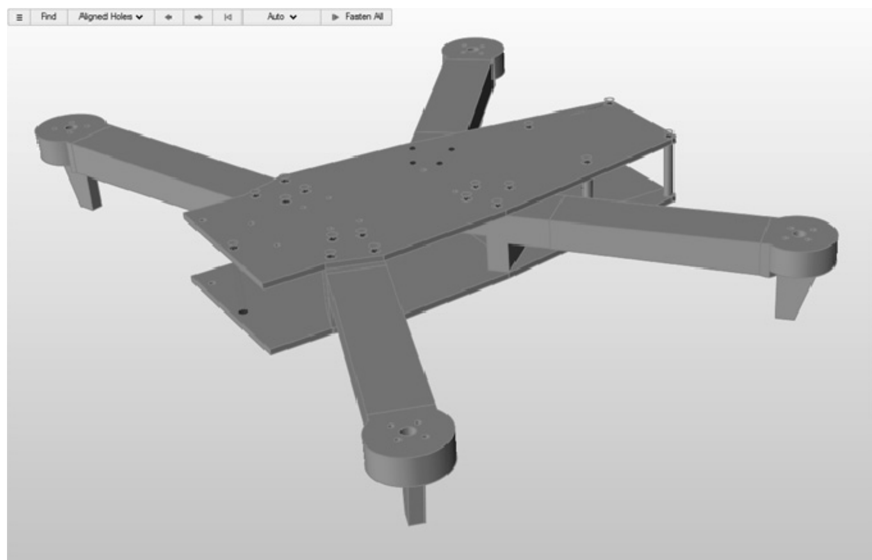


图 11-3

3）请确保操作栏上的对齐了的孔已被选中。该选项将对结果进行过滤，只在相邻零件上显示对齐了的孔，而不显示单个孔。对齐了的孔的总数显示在螺栓联接图标上方的计数器中。

4）请确保操作栏上的自动已被选中，如图 11-4 所示。当选中自动后，Inspire 将在螺栓连接创建后自动在通孔中放入螺母和螺栓，在盲孔中放入螺栓。



图 11-4

11.4 创建螺母和螺栓

1）放大四轴飞行器的前端，如图 11-5 所示。

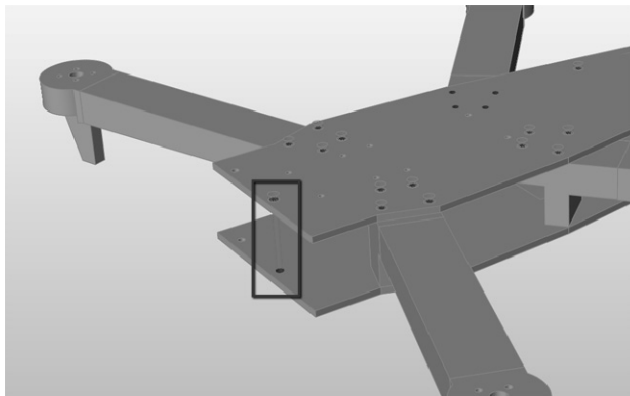


图 11-5

2）注意：在该组对齐的孔中，现有的几何体目前是透明的，如图 11-6 所示。在该位置创建螺栓连接后，原来的几何体将被隐藏并删除，表明其将不再被纳入分析和优化计算中。

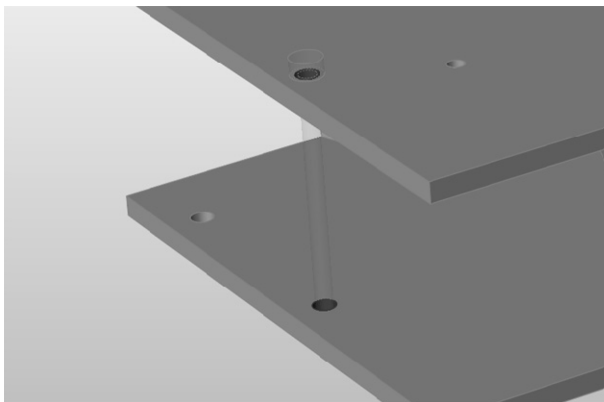


图 11-6

3）单击一个孔创建螺栓连接，如图 11-7 所示。因为这是一个通孔，所以 Inspire 将自动创建螺母和螺栓。

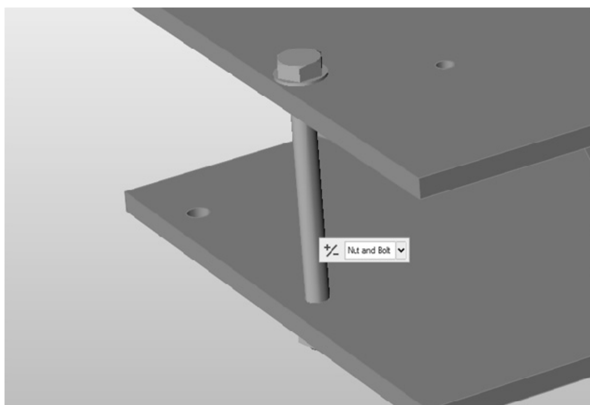


图 11-7

11.5　添加螺栓连接

1）平移至图 11-8 所示四轴飞行器的轴臂并放大，如图 11-8 所示。

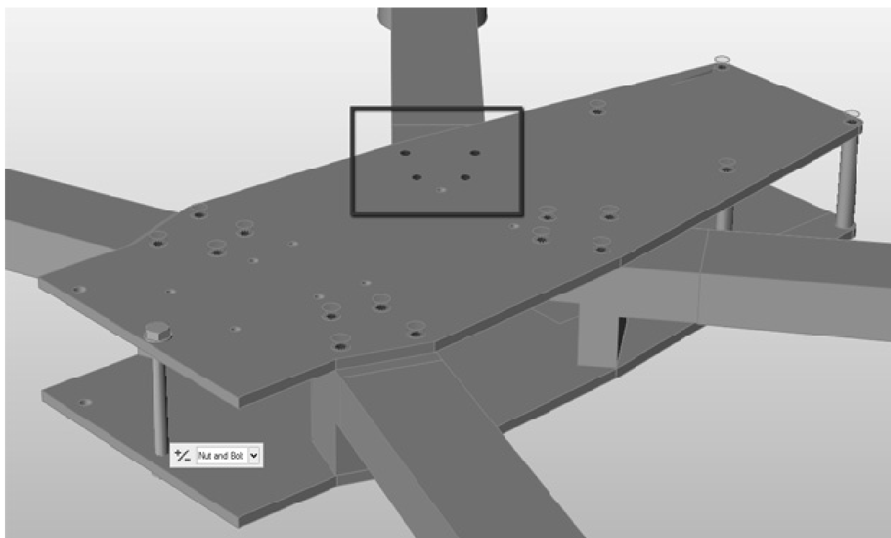


图 11-8

2）单击上方的两个孔，如图 11-9 所示。因为这是两个通孔，所以 Inspire 将自动创建螺母和螺栓。

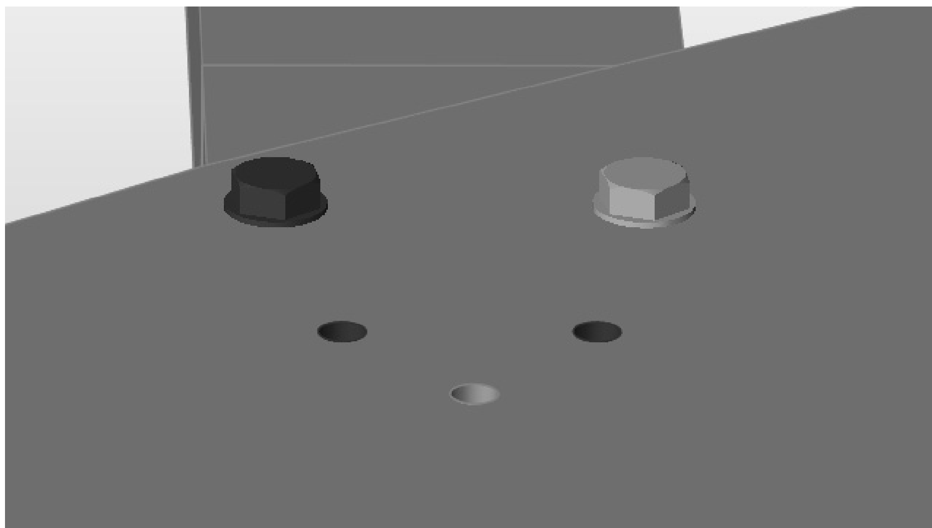


图 11-9

3）单击下方的两个孔，如图 11-10 所示。因为这是两个盲孔，所以 Inspire 将自动创建螺栓。

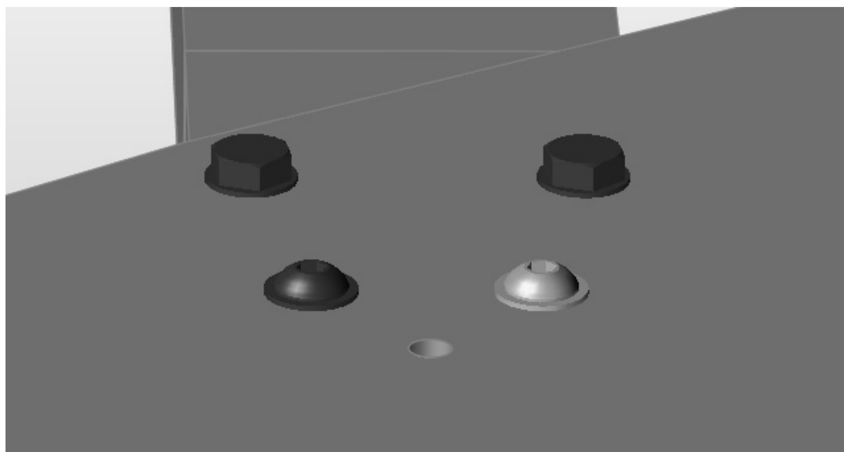


图 11-10

4）平移至图 11-11 所示四轴飞行器的轴臂并放大，如图 11-11 所示。

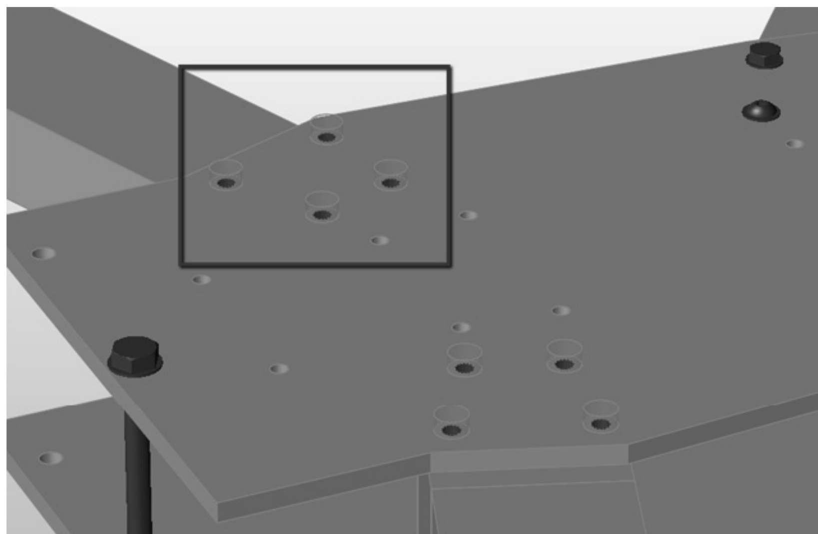


图 11-11

5）覆盖自动设置，在通孔中创建螺栓，在操作栏上单击自动并选择螺栓，如图 11-12 所示。

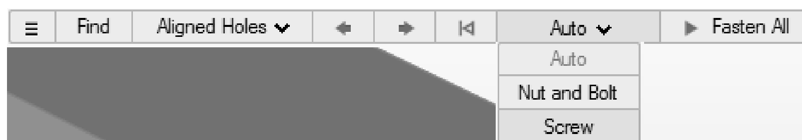


图 11-12

6）单击图 11-13 所示的孔创建螺栓。

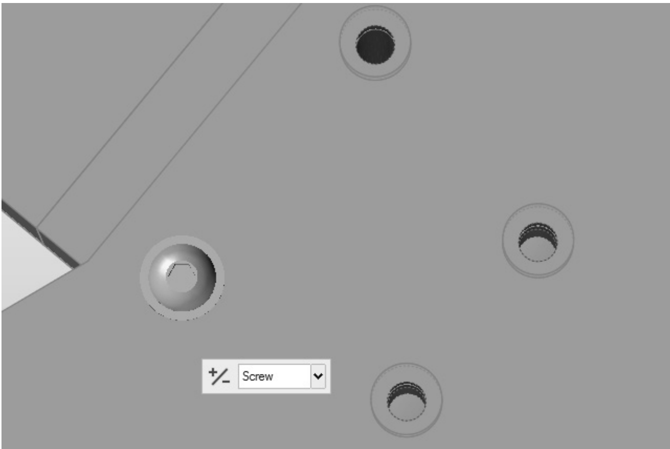


图 11-13

7）刚才创建的螺栓下端没有螺母，但是和螺母配套的螺栓下面有螺母，如图 11-14 所示。

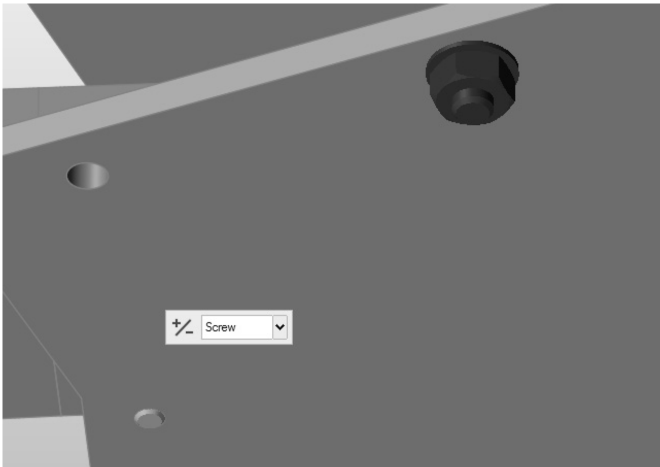


图 11-14

11.6 自动创建螺栓连接

下面在其余的对齐了的孔中快速创建螺栓连接。

1）在操作栏上单击螺栓并选择自动，如图 11-15 所示。

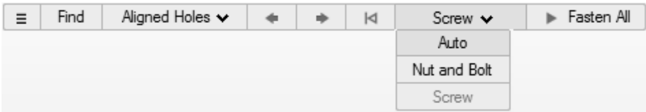


图 11-15

2）单击操作栏上的创建所有螺栓连接，Inspire 将自动在通孔中放入螺母和螺栓，在盲孔中放入螺栓，如图 11-16 所示。

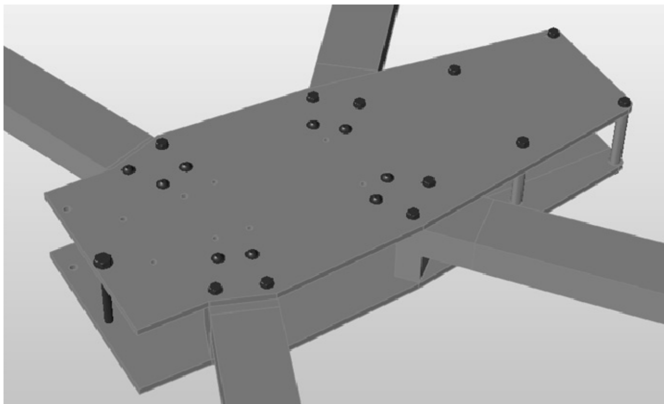


图 11-16

3）注意：在图 11-17 所示的位置没有创建螺栓连接，因为 Inspire 并没有将这些孔视为已对齐的孔。

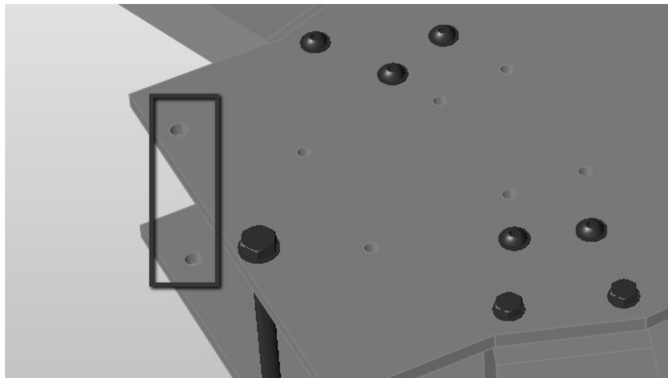


图 11-17

4）要手动创建螺栓连接，请选中每个孔的内表面，然后再次单击创建螺母和螺栓，如图 11-18 所示。

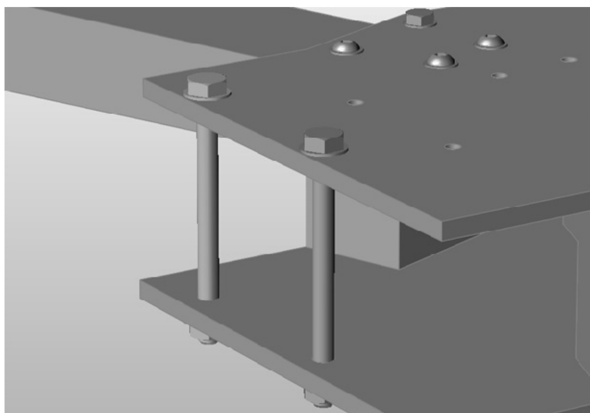


图 11-18

11.7 创建接地螺栓

1）在操作栏上单击对齐了的孔并选择单个孔，如图 11-19 所示。对于单个孔，Inspire 将默认自动创建螺母和螺栓。



图 11-19

2）平移至图 11-20 所示两孔并放大。

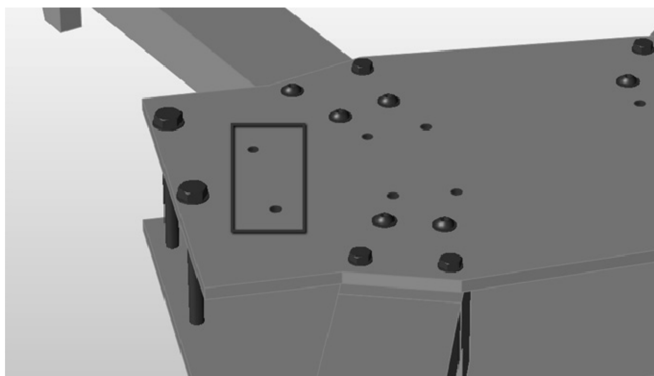


图 11-20

3）单击位于上方的孔创建螺母和螺栓，然后单击小对话框上的 +/− 按钮反转方向，如图 11-21 所示。



图 11-21

4）重复以上步骤创建并反转第二个螺栓的方向，如图 11-22 所示。

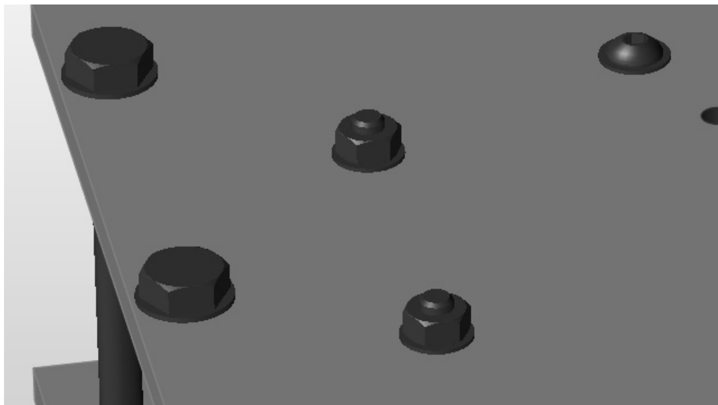


图 11-22

5）要使螺栓接地，请选择载荷图标上的固定约束工具。

6）单击每个螺栓施加固定约束，如图 11–23 所示。螺栓接地后螺母将被自动删除。

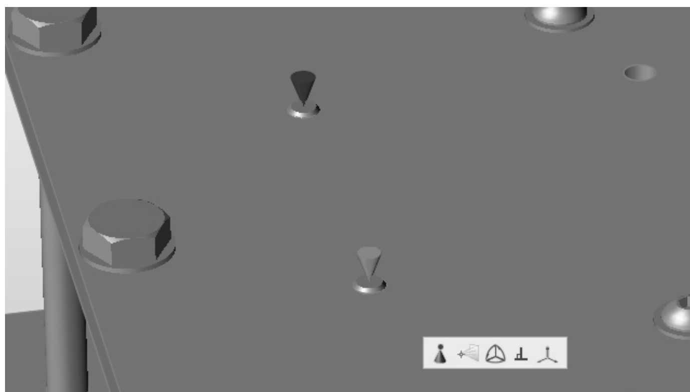


图 11–23

7）平移至图 11–24 所示位置并放大。

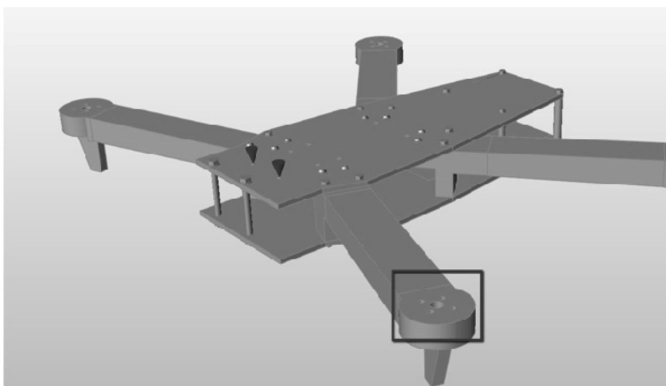


图 11–24

8）选择螺栓连接工具并在外侧孔中另外创建 4 个螺栓，如图 11–25 所示。

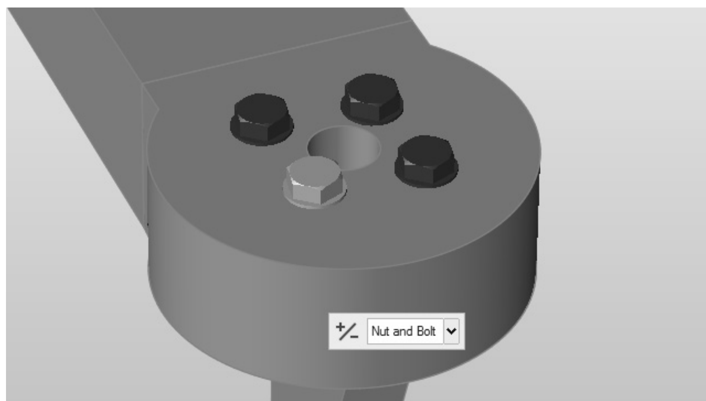


图 11–25

9）框选这些螺栓，并在小对话框中单击 +/− 按钮反转这 4 个螺栓的方向，如图 11−26 所示。

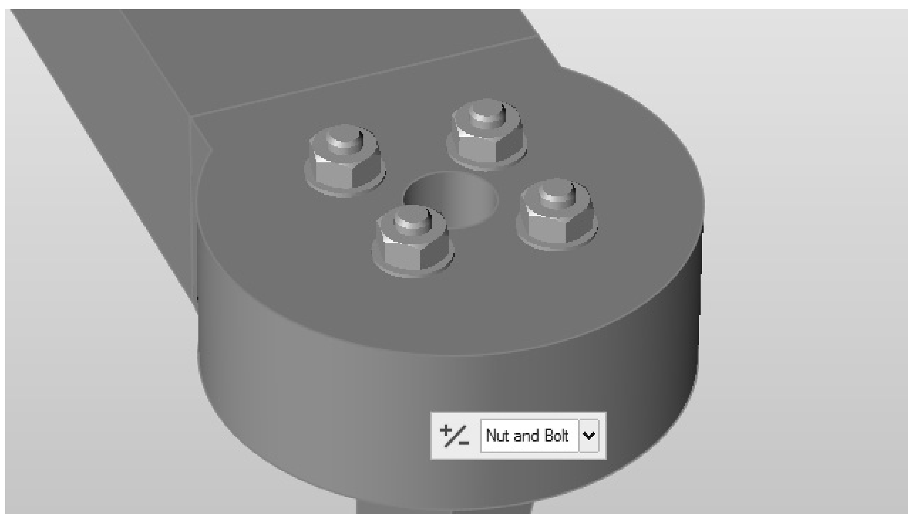


图 11−26

10）选择载荷图标上的固定约束工具，使 4 个螺栓接地，如图 11−27 所示。

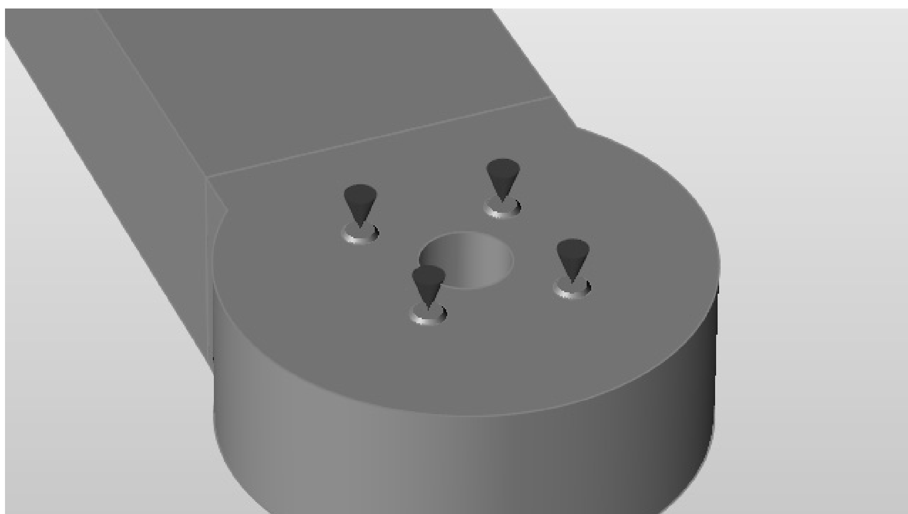


图 11−27

11.8 重新定义接触

1）缩小视图，然后选择接触工具。

2）注意：现在，零件上使用螺栓进行连接的位置变成了绿色，表示这些地方是接触而不是绑定接触，如图 11−28 所示。

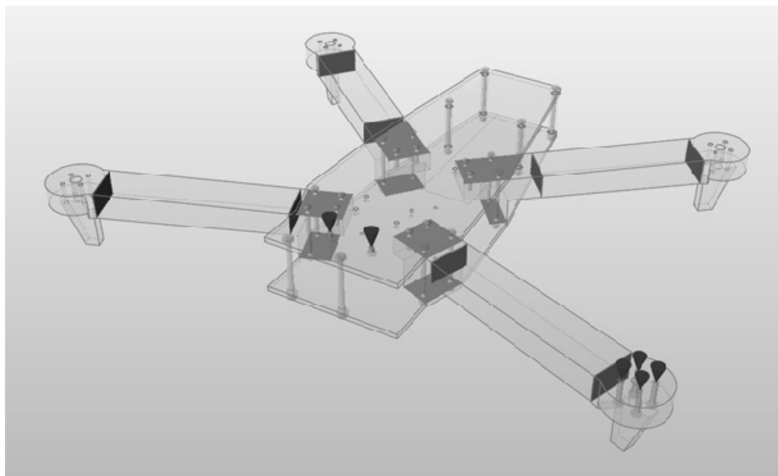


图 11-28

3）如果需要，可以选择单个接触，改变其类型。例如，按住〈Ctrl〉键，选择图 11-29 所示中 4 个绿色显示的接触。

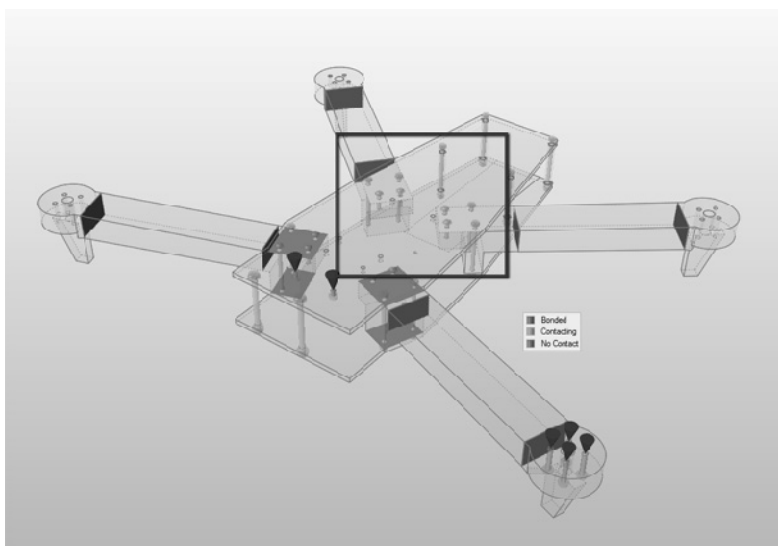


图 11-29

4）在操作栏上单击自动并选择绑定接触，如图 11-30 所示。

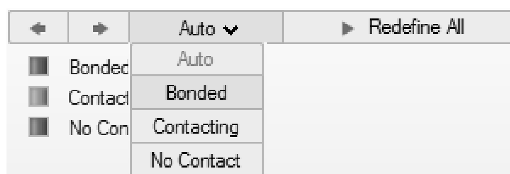


图 11-30

5）在操作栏上单击重新定义已选择对象，所选接触将变为绑定接触并显示为红色，如图 11-31 所示。

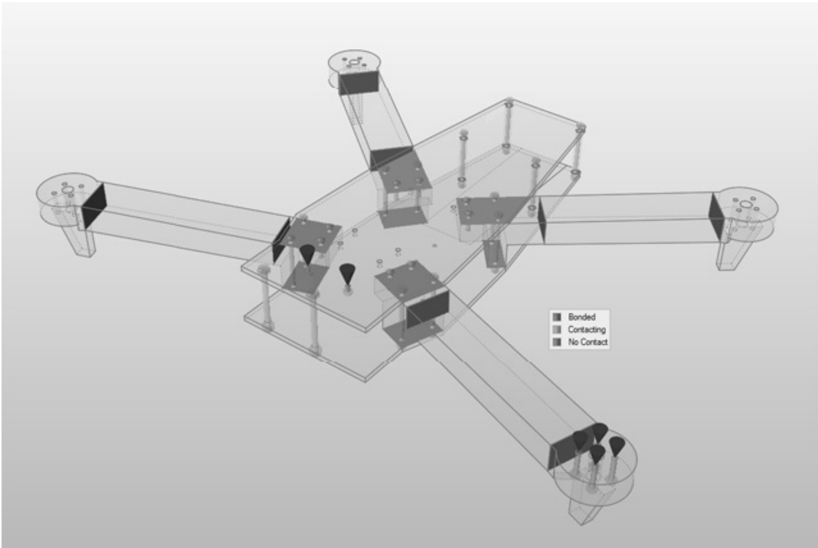


图 11-31

6）单击操作栏上或按键盘上的箭头，在模型上从一个接触移动至下一个，如图 11-32 所示。



图 11-32

7）单击接触将其选中，然后在小对话框中选择不同的选项改变其类型，如图 11-33 所示。

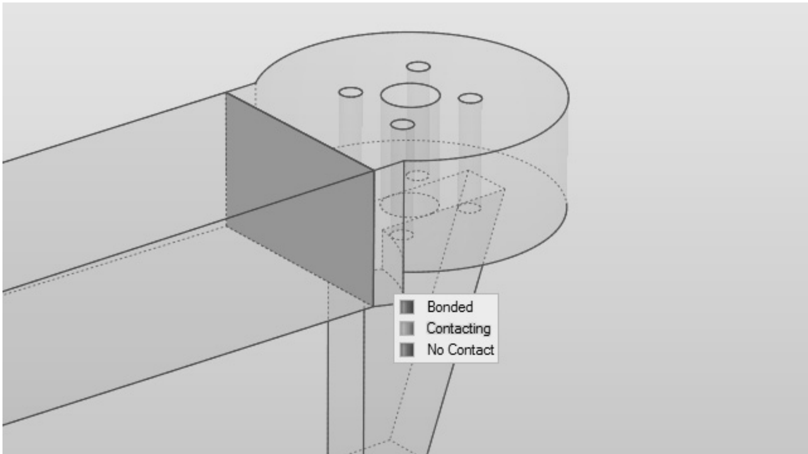


图 11-33

8）右击退出该工具。

注意：使用结构仿真功能区上的铰接工具 可以创建铰接和滑动铰接等铰接。该过程和创建螺栓连接非常类似。

11.9 扩展阅读

有效接触见表 11-1。

表 11-1

几何体	有效接触	类型
		曲面边至曲面表面
		曲面相交
		曲面边至曲面边
		曲面重叠
		曲面至中面
		曲面和实体重叠
		实体至中面

无效接触见表 11-2。

表 11-2

几　何　体	无 效 接 触	类　　型
		曲面边至实体边
		曲面和实体相交
		实体边至实体边

第 12 章

分析具有接触的模型



在第 11 章中已向读者介绍了连接的各种形式，其中对于具有重合面而非绑定的零件之间常定义为接触。本章将介绍接触的两种计算方式及其对应的应用状态。

本章学习要点如下：

- **创建螺母和螺栓**。
- **螺栓接地**。
- **运行分析**。
- **查看接触**。
- **将接触类型由绑定接触变为接触**。

12.1 打开活动连接杆模型

1）打开 Inspire。

2）单击文件图标中的打开模型。

3）在打开文件窗口中，选择 Tutorials 文件夹。

4）选择文件 Analysis_Contacts.stmod 并打开。

5）请确保单位系统已设置为 MPA (mm t N MPa)，如图 12-1 所示。

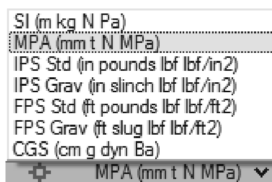


图 12-1

6）该模型已经定义了一个载荷工况，如图 12-2 所示。该载荷工况的目的是精确模拟从施加在杆内侧的扭矩向被指定为设计空间的托架传递的载荷。

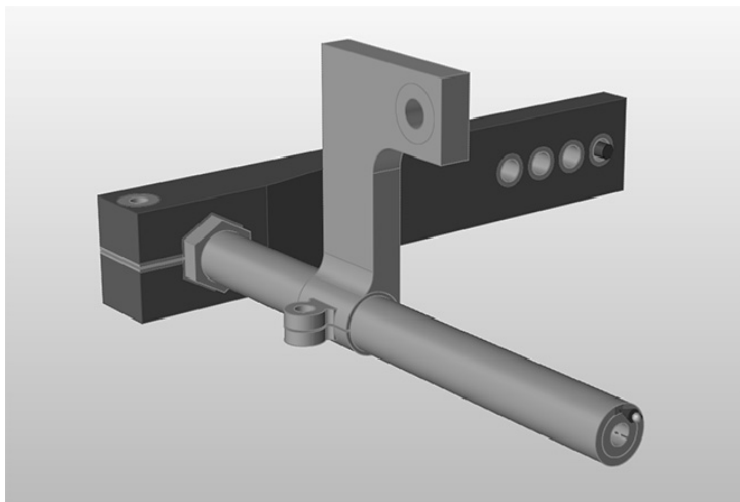


图 12-2

12.2 在对齐的孔中创建螺母和螺栓

1）单击功能区上的“结构仿真”菜单，然后选择螺栓连接工具。该工具找到两处存在对齐了的孔的位置。

2）单击操作栏上的创建所有螺栓连接。

3）Inspire 将在这两处位置创建螺母和螺栓，如图 12-3 所示。

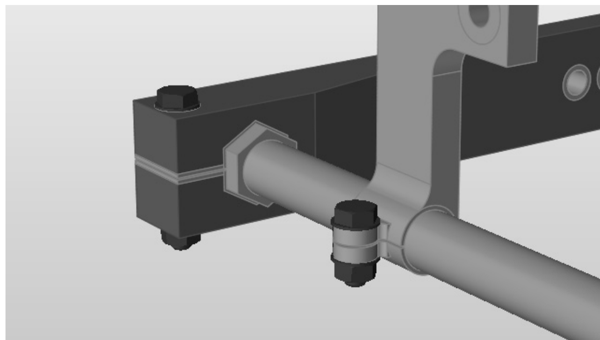


图 12-3

12.3　单个孔中创建螺母和螺栓

1）当螺栓连接工具仍处于激活状态时，单击操作栏上的对齐的孔，选择单个孔，如图 12-4 所示。



图 12-4

2）Inspire 找到 6 处存在单个孔的位置。单击图 12-5 所示的单个孔创建螺母和螺栓。

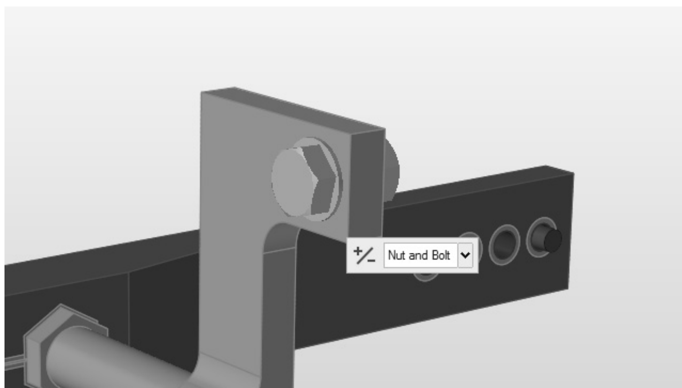


图 12-5

3）右击退出螺栓连接工具。

4）从结构仿真功能区中的载荷图标中选择固定约束工具，如图 12-6 所示。



图 12-6

5）在该螺栓背面放置一个固定约束，如图 12-7 所示。这将模拟托架以螺栓方式固定到地面或其他零件上的情况。

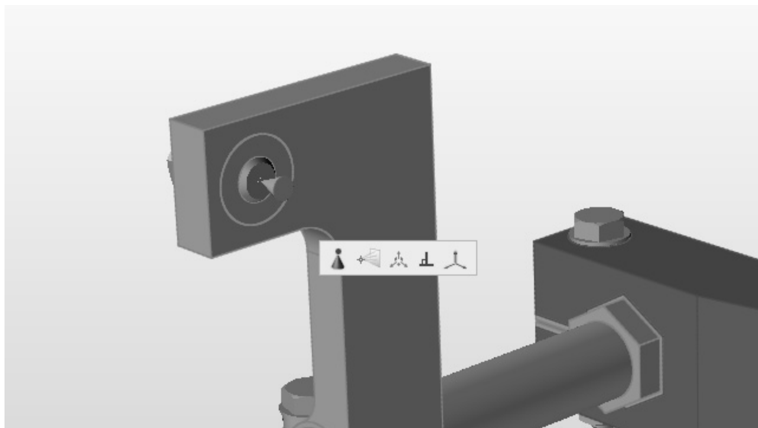


图 12-7

6）右击退出固定约束工具。

12.4　运行分析并查看结果

1）单击分析图标上的运行分析，打开运行分析窗口。

2）请使用 3 mm 单元尺寸，并确保将速度/精度设置为更快，如图 12-8 所示。

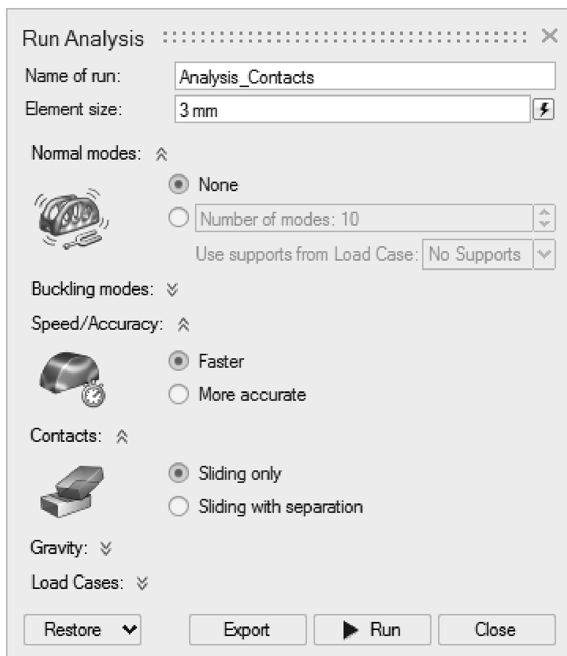


图 12-8

3）当运行结束后，选择运行状态窗口中的运行，并单击现在查看按钮以查看结果，如图 12-9 所示。

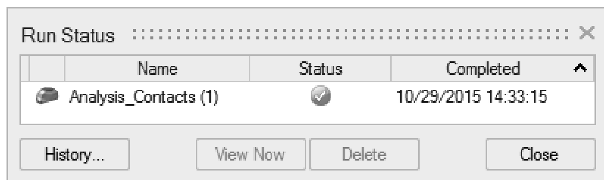


图 12-9

4）在分析探索器中，为 ResultTypes（结果类型）选择 von Mises Stress（米塞斯等效应力），如图 12-10 所示。

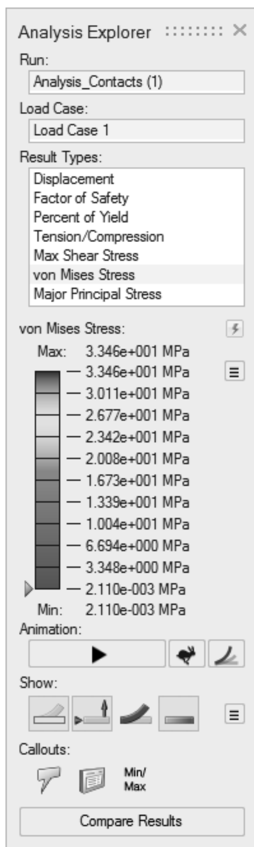


图 12-10

5）单击图 12-11 上的上限值，将值改为 5 MPa。

6）请观察大部分施加的扭矩是如何通过较小的 L 形托架直接传递的，在现实中，大部分扭矩应该通过较大的块状托架进行传递。这和接触的定义方式有关。如果两个零件没有通过螺栓连接或铰接接触，则可以认定是绑定接触。如果使用了螺栓连接或铰接，则可以认定零件处于接触状态。

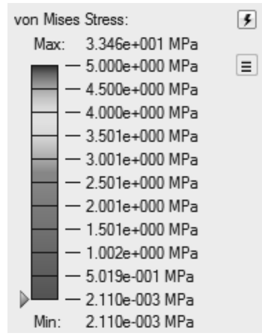


图 12-11

在这种情况下，将自动创建绑定接触，表示零件之间稳固连接，但这是不正确的。杆应该能够在 L 形托架的夹钳中自由转动，所以需要使用接触工具手动改变接触的定义方式，如图 12-12 所示。

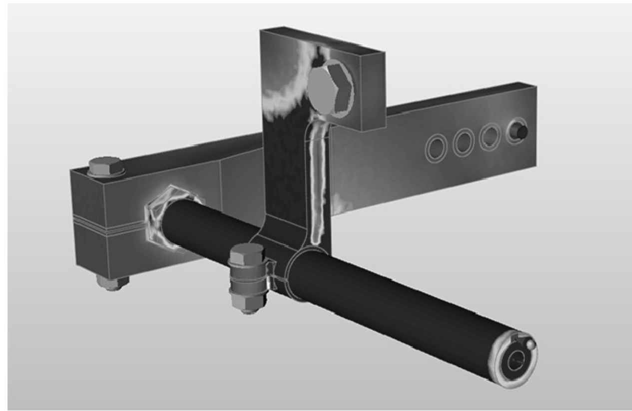


图 12-12

7）在分析探索器中，为结果类型选择位移，如图 12-13 所示。请注意，在杆穿过托架的地方有位移，但这是不正确的。载荷应该穿过夹钳进入设计空间。

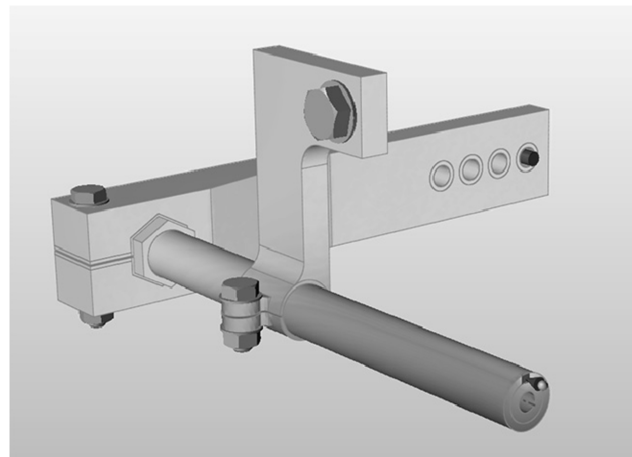


图 12-13

8）单击鼠标右键退出分析探索器。

12.5　重新定义接触

1）选择结构仿真功能区的接触工具。目前，该模型中的所有接触都被定义为绑定接触并以红色显示，如图 12-14 所示。

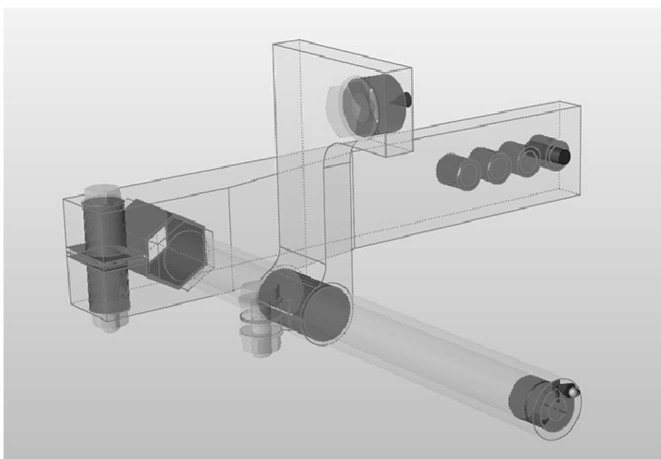


图 12-14

2）单击杆与 L 形托架相接的接触，如图 12-15 所示。

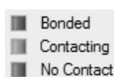


图 12-15

3）单击图 12-15 中的绿色按钮，将接触类型由绑定接触变为接触，如图 12-16 所示。

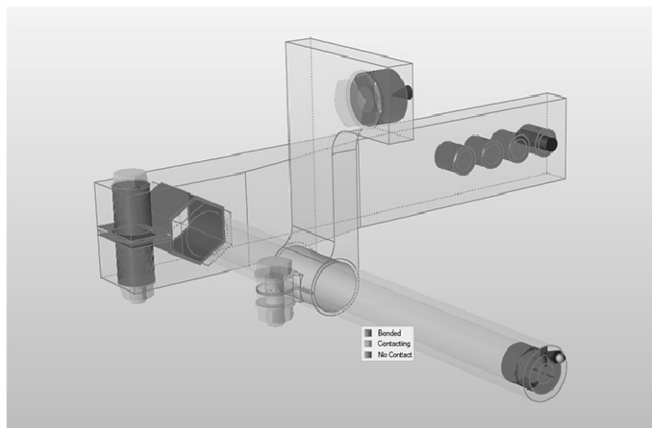


图 12-16

4）右击退出接触工具。

12.6 使用“滑动接触”选项重新运行分析并查看结果

1）单击分析图标上的运行分析，打开运行分析窗口。

2）在接触下，请确保选中滑动接触。该选项将允许零件之间相对滑动但不能分离，如图 12-17 所示。

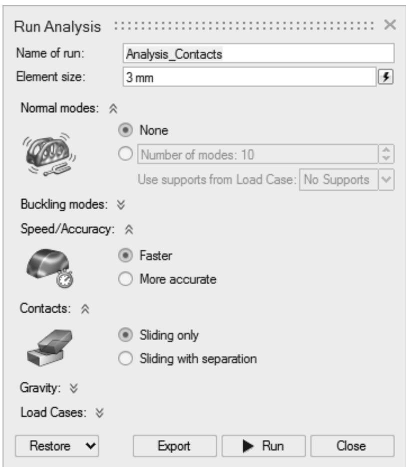


图 12-17

3）当运行结束后，选择运行状态窗口中的运行，并单击现在查看按钮以查看结果，如图 12-18 所示。

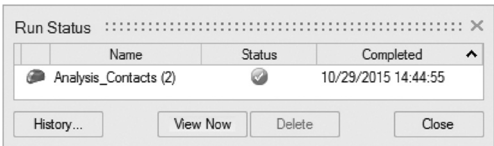


图 12-18

4）在分析探索器中，为结果类型选择 von Mises Stress（米塞斯等效应力），如图 12-19 所示。

5）单击图 12-20 上的上限值，将值改为 5 MPa。

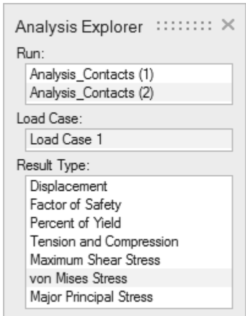


图 12-19

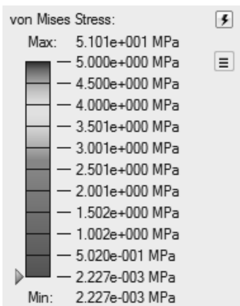


图 12-20

6）此时可以看到改变接触类型如何使 Inspire 更精确地捕捉该载荷工况，如图 12-21。现在，更多扭矩传递到了准备进行优化的更大的托架上，这更加接近该活动连接杆装配的实际操作。

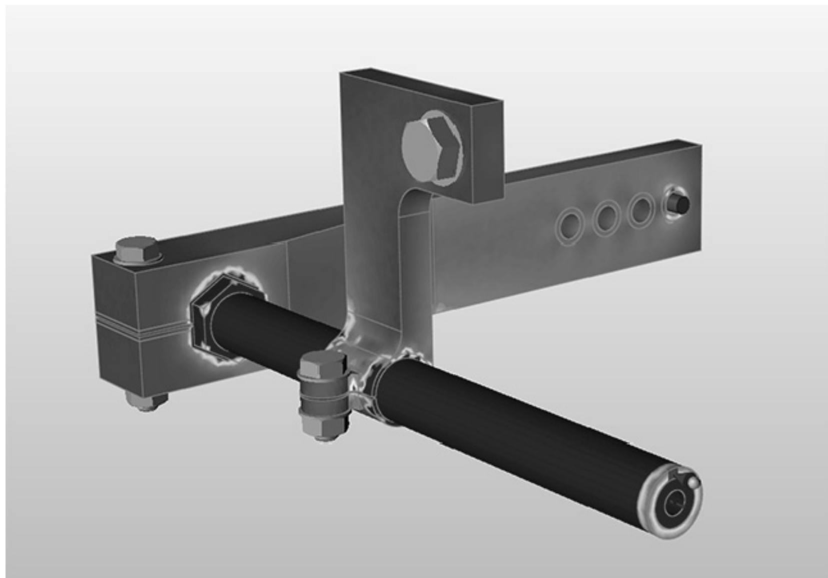


图 12-21

7）在分析探索器中，为结果类型选择位移，如图 12-22 所示。现在，因为重新定义了接触，位移穿过夹钳到达了设计空间。

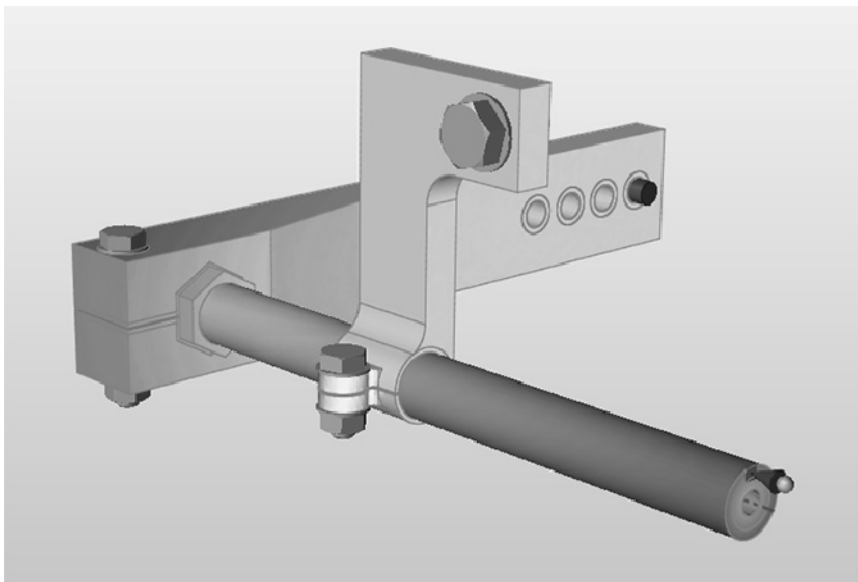


图 12-22

8）单击图 12-23 上的上限值，将值改为 1e-2 mm。

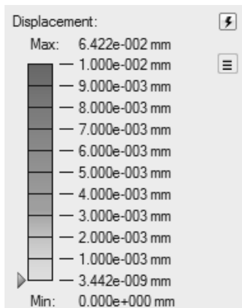


图 12−23

这样可以能够更好地观察夹钳中的位移，如图 12−24 所示。

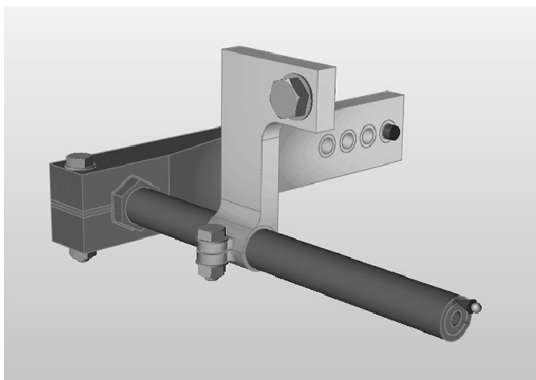


图 12−24

9）单击鼠标右键退出分析探索器。

12.7 单独显示托架并观察位移

1）选择建模窗口中的 L 形托架，然后按〈I〉键使其单独显示，如图 12−25 所示。

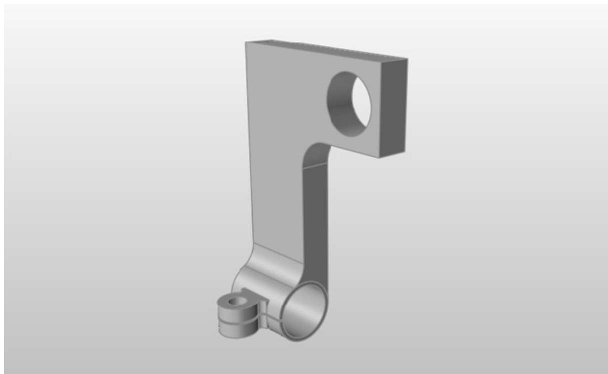


图 12−25

2）单击分析图标上的显示分析结果，打开分析探索器。

3）在运行下的分析探索器中，选择 Analysis_Contacts (2)，如图 12−26 所示。位移结果

类型应仍然可见。

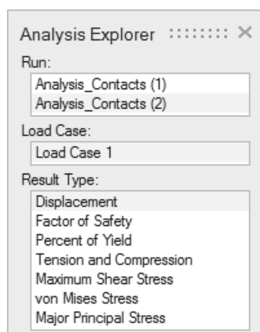


图 12-26

4）单击分析探索器上的显示/隐藏变形状态图标。

5）请注意，在杆穿过 L 形托架的区域发生了位移（见图 12-27），因为杆没有从夹钳分离。

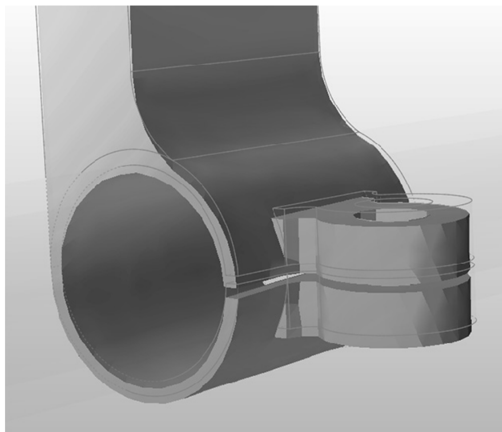


图 12-27

6）单击显示/隐藏变形状态图标，然后右键单击退出分析探索器。

7）按〈A〉键显示模型中的所有零件，如图 12-28 所示。

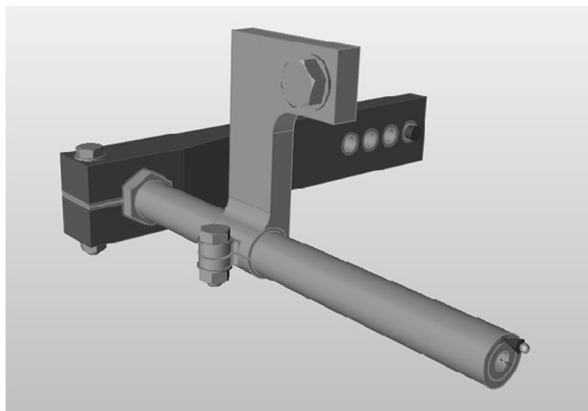


图 12-28

12.8 使用“可分离的滑动接触”选项重新运行分析并查看结果

1）单击分析图标上的运行分析，打开运行分析窗口。

2）在接触下，选择可分离的滑动接触，如图 12-29 所示。该选项将允许零件之间相对滑动且可以分离。

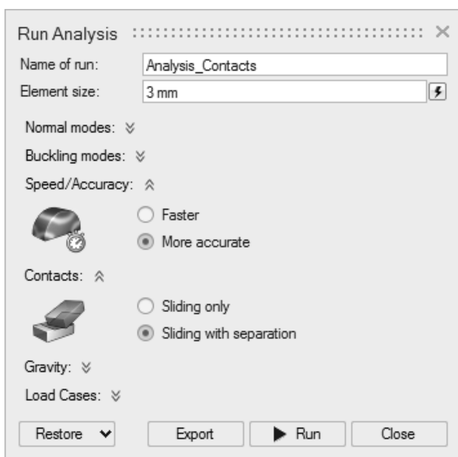


图 12-29

3）当运行结束后，选择运行状态窗口中的运行，并单击现在查看按钮以查看结果，如图 12-30 所示。

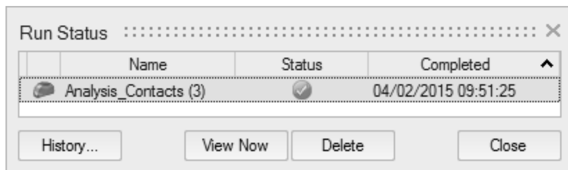


图 12-30

4）在分析探索器中，为结果类型选择米塞斯等效应力，如图 12-31 所示。

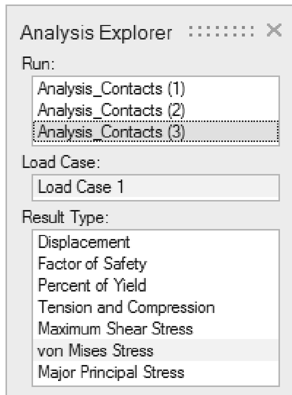


图 12-31

5）单击图 12−32 上的上限值，将值改为 5 MPa。

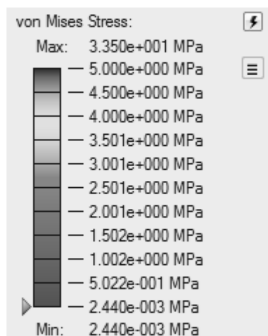


图 12−32

6）结果与使用“滑动接触”选项进行的分析非常相似，但是现在能看到夹钳上的应力，如图 12−33 所示。

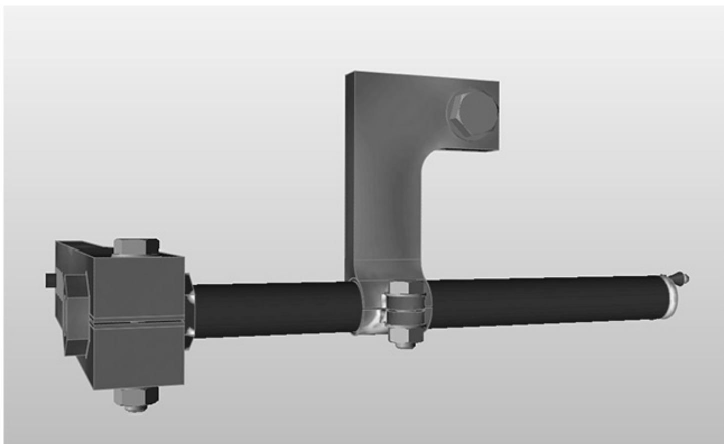


图 12−33

7）在分析探索器中，为结果类型选择位移。

8）单击图 12−34 上的上限值，将值改为 1e−2 mm，如图 12−34 所示。

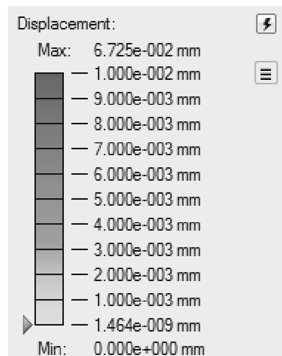


图 12−34

9）位移穿过夹钳到达设计空间，这是正确的，如图 12-35 所示。

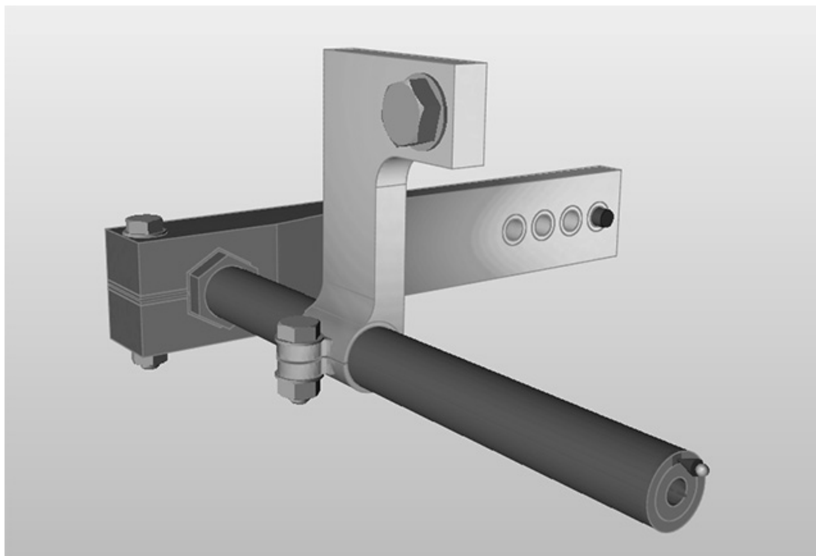


图 12-35

10）单击鼠标右键退出分析探索器。

12.9 单独显示托架并观察位移

1）选择建模窗口中的 L 形托架，然后按〈I〉键使其单独显示，如图 12-36 所示。

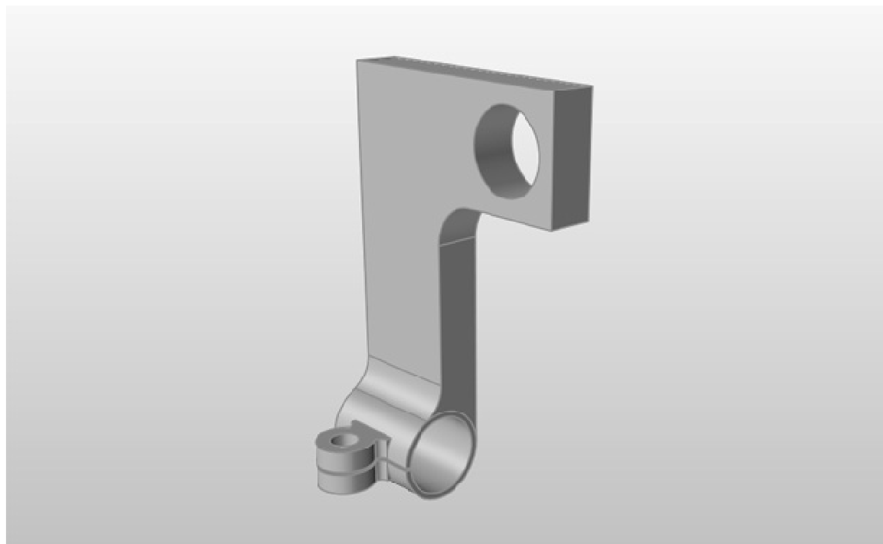


图 12-36

2）单击分析图标上的显示分析结果，打开分析探索器。

3）在运行下的分析探索器中，选择 Analysis_Contacts (3)，如图 12-37 所示。位移结果类型应仍然可见。

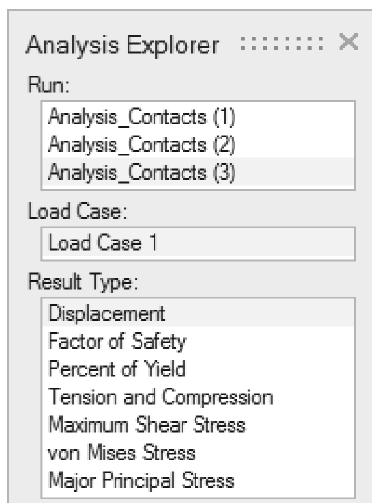


图 12-37

4）单击分析探索器上的显示/隐藏变形状态图标，如图 12-38 所示。请注意，杆穿过 L 形托架的区域发生了不一致的位移，因为杆已经和夹钳分离。这更好地反映了现实中的物理状况。

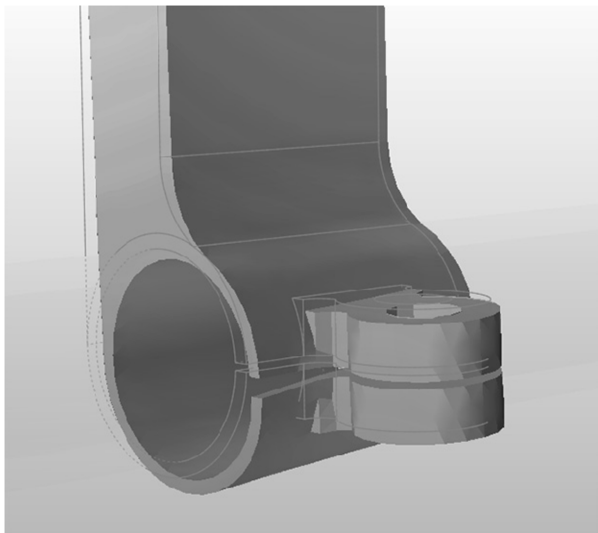


图 12-38

5）单击显示/隐藏变形状态图标，然后单击鼠标右键退出分析探索器。

6）按〈A〉键显示模型中的所有零件。

使用接触中的零件时，滑动接触选项使模型运行的更快，但是结果并不十分精确。如果选择可分离的滑动接触选项，则模型运行速度变慢，但是能更好地反映实际的物理状况。

12.10　扩展阅读

1. 温度载荷

使用施加温度工具模拟模型上的温度变化效应，这些变化会造成应力，最终超出材料的强度。这个工具可以从结构仿真功能区的温度图标打开。单击列出载荷工况卫星图标，查看和管理载荷工况。

2. 施加温度载荷

1）单击施加温度工具。

2）单击模型以施加温度载荷。可以施加尽可能多的温度载荷，但在每个载荷工况下，一个零件仅允许施加一个温度载荷。如果具有多个大小相同的温度载荷，则施加载荷的同时可以按住〈Ctrl〉键将这些载荷收集到一个组中。这个组会作为一个载荷显示在模型浏览器中，并可以同时对其进行编辑。

3）使用小对话框定义大小。

- 要输入温度变化，单击ΔT图标，如图 12−39 所示。

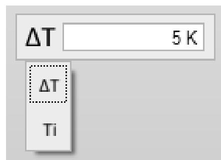


图 12−39

- 要输入初始和最终温度，单击 Ti 图标，如图 12−40 所示。

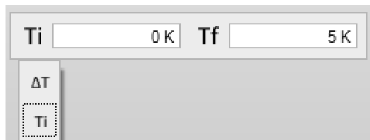


图 12−40

4）操作完成后，右键单击或按〈Esc〉键退出工具。

3. 小对话框选项

单击 ΔT 图标打开下拉菜单，可以在此处设置温度类型，如图 12−41 所示。

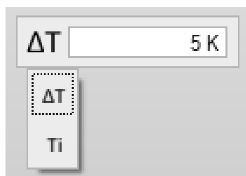


图 12−41

可以输入 Delta 温度或初始/最终温度，见表 12-1。

表 12-1

温度类型	含义
ΔT 5 K	输入 Delta 温度（变化）
Ti 0 K	输入初始温度。在这个温度下，模型上没有剩余应力
Tf 5 K	输入最终温度

4. 键盘快捷键

键盘快捷键见表 12-2。

表 12-2

快捷键	含义
Ctrl	将多个温度载荷收集到一个组中，以便同时编辑。单击添加到已选对象，或从已选对象中删除
Esc 或 RMB	退出工具

第 13 章

保存和导出文件



本章将介绍如何将满意的优化结果进行保存和导出，以便进行进一步的详细设计和三维建模。

本章学习要点如下：

- **将优化后的形状保存为 STL 文件。**
- **导出优化结果至 Evolve。**

13.1 打开桥体模型

1）打开 Inspire。

2）单击文件图标中的打开模型。

3）在打开文件窗口中，选择 Tutorials 文件夹。

4）选择 Bridge Optimized.stmod 文件并打开。

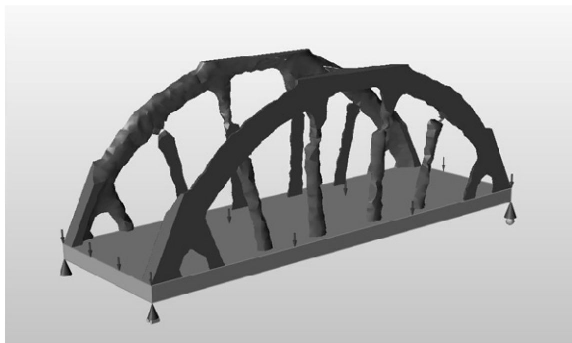


图 13-1

13.2 以文件格式保存优化后的形状

1）在模型视窗中选择优化结果。

2）单击“文件”→“保存所选”命令。



图 13-2

3）在“保存类型”下拉列表中选择 STL (*.stl)，单击“保存”按钮。形状即保存为标准 STL 格式，并导出至其他应用程序中，如图 13-3 所示。



图 13-3

13.3　将优化后的形状导出至 Evolve

1）如果要将优化后的形状导出至 Evolve，则右击该形状并从右键菜单中选择“保存至 Evolve”选项。



图 13-4

2）打开 Evolve 应用程序。

3）将光标悬停在应用程序左侧的模型工具栏上，滚动鼠标滚轮至底部，如图 13-5 所示。

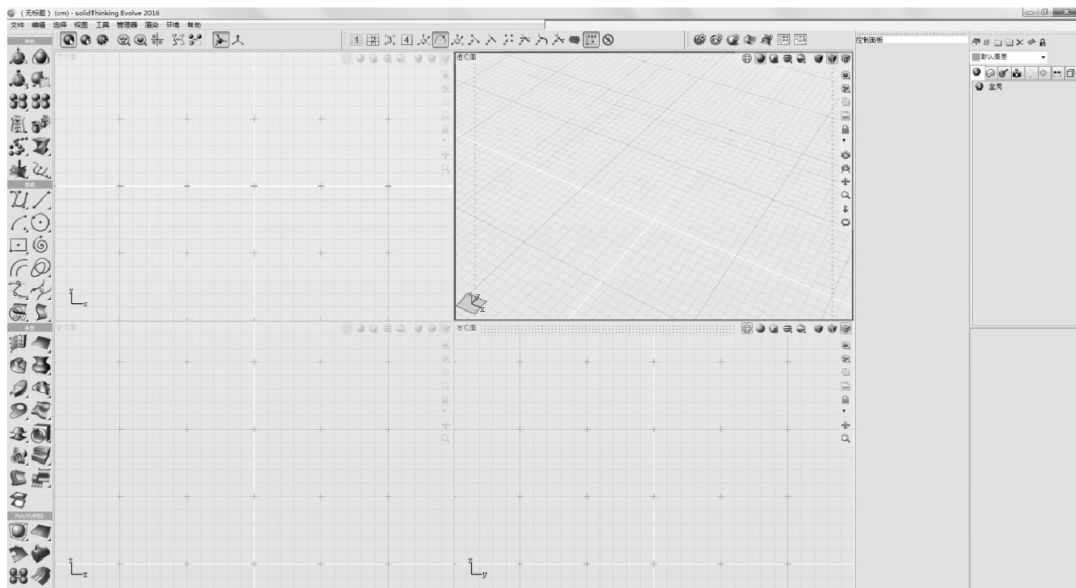


图 13-5

4）单击 Inspire 选项卡下的从 Inspire 检索图标，弹出如图 13-6 所示的 Inspire 图形浏览器。

5）双击优化后形状的图像，将其导入至 Evolve，如图 13-7 所示。

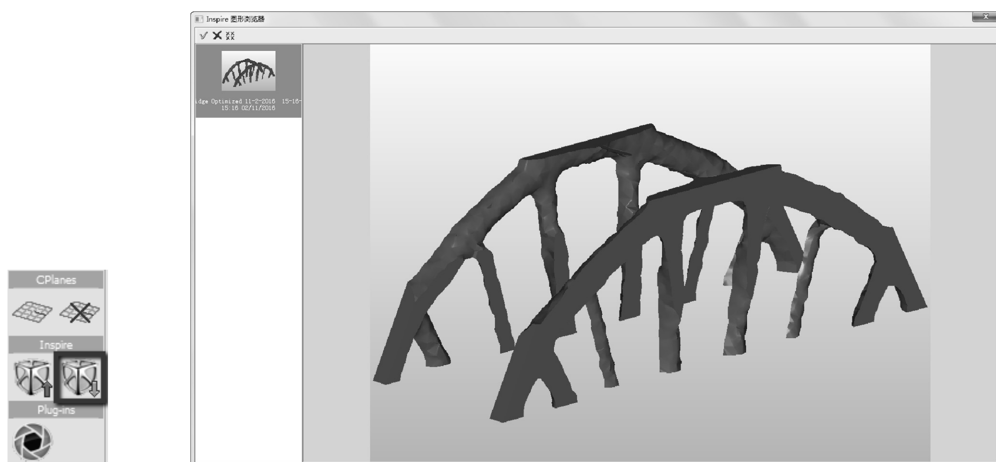


图 13-6　　图 13-7

13.4　扩展阅读

Inspire 支持多种 导出文件格式，包括 IGES、Parasolid、STEP 和 STL。

- 要导出几何，单击“文件”→“另存为”命令。
- 要导出优化结果，单击“文件”→“保存所选”命令，然后选择 STL 文件类型。
- 要将结果导出至 Evolve，请用鼠标右键单击优化后的形状，从右键菜单中选择“保

存至 Evolve”选项。

● 要将有限元模型 (FEM) 导出至 HyperMesh，请单击运行优化窗口中的导出按钮。

优化后的形状只能以 STL 格式导出。要以不同的格式导出，必须使用形状探索器，从而使面适应形状。生成的面模型可导出到大多数 CAD 系统中。

以 STL 格式导出优化结果时，Inspire 会使用当前的单位系统保存文件。有些第三方应用会在导入时根据需要转换单位。如果所用的应用程序不会自动转换单位，则在导出 STL 文件前，需要在 Inspire 中更改当前单位系统。

1. 使面适合优化后的形状并保存

1）右击优化后的形状，打开右键菜单。

2）选择使曲面适合优化后的形状。Inspire 会尝试创建一个适合优化后的形状的曲面。

3）如果操作成功，则从下拉菜单中选择“文件”→“保存所选”选项，此时弹出另存为对话框。

4）输入文件名，然后选择文件类型。

5）单击保存按钮。

2. 将 FEM 文件导出至 HyperMesh

1）单击优化图标上的运行优化图标▶，弹出运行优化窗口，如图 13-8 所示。

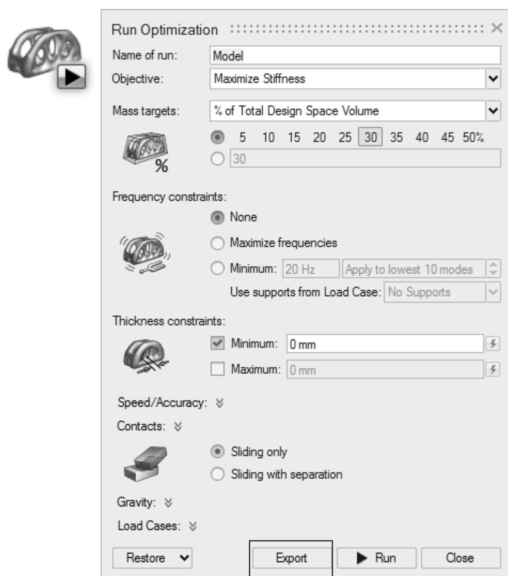


图 13-8

2）单击 Export 按钮。

3）为文件选择路径和名称，然后单击保存按钮，Inspire 会将 FEM 文件写入该位置，单击会对该模型使用当前可用的单位系统。

第 14 章

曲面建模



曲面或壳体模型是一种表示薄壁 3D 结构的方式，这种方式数值精确、效率高。当零件的厚度明显薄于其他标准尺寸时（约为 1/10 或更薄），通常采用这种模型。在这些工况下使用曲面模型可以缩短分析和优化运行的时间。本章将介绍几种不同的方式来定义此类模型。

本章学习要点如下：

- **从 CAD 中导入曲面**。
- **对简单和复杂的薄实体应用中面**。
- **使用“补块”工具从实体创建曲面**。
- **使用属性编辑器为曲面指定厚度**。
- **分析并优化曲面**。

14.1　分析曲面模型

1）打开安装目录中 Tutorials 文件夹中的 rhs_01.stmod 文件。

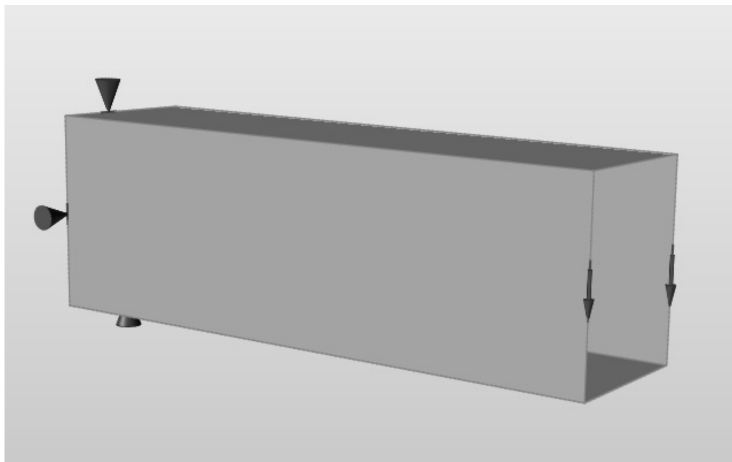


图 14-1

2）选择零件并注意以下事项：

- 该模型表示为具有多个曲面的单一零件。
- RHS（右手边）梁的一端被限制，另一端承受载荷，同时力和固定约束已施加到零件边上。

3）按〈F3〉键打开属性编辑器，在质量属性下为零件分配 10 mm 的厚度，如图 14-2 所示。

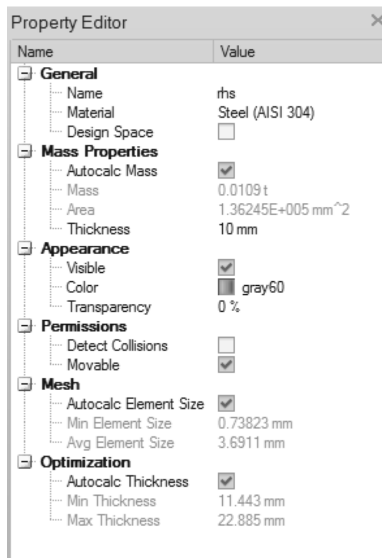


图 14-2

4）单击分析图标上的 ▶ 按钮，使用下列选项设置分析，如图 14-3 所示。

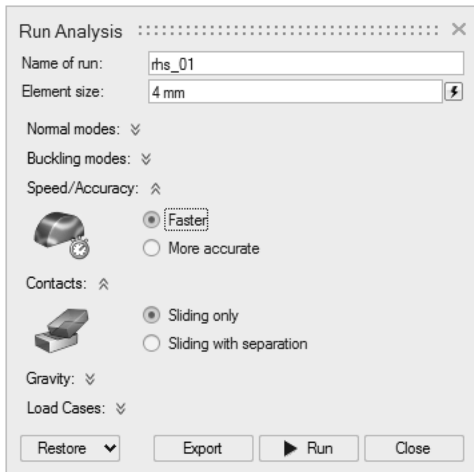


图 14-3

5）将单元尺寸设置为 4 mm，速度/精度设置为“更快”。

6）单击 Run 按钮并注意运行速度。如果所建模型为实体，则运行时间将增加一个或多个数量级，以便在结果中获得相似的精度。

7）双击运行名称打开分析探索器并检查“位移”和其他结果，如图 14-4 所示。

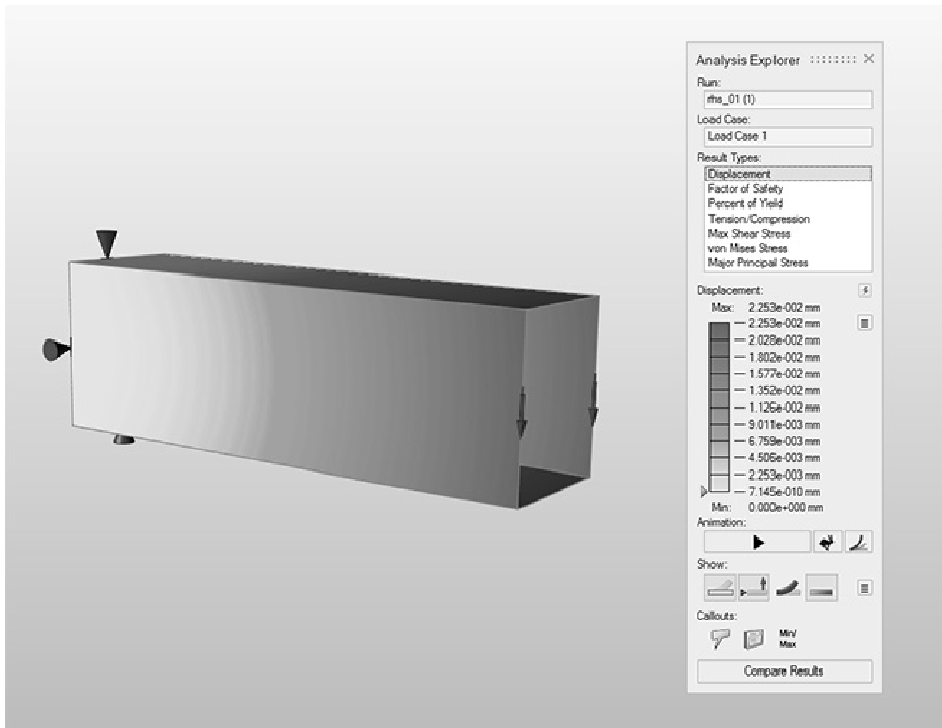


图 14-4

14.2　导入 CAD 并分配厚度

1）打开安装目录 Tutorials 文件夹中的 sheet_metal_bracket.x_t 文件，将该 CAD 模型导入 Inspire 中，如图 14-5 所示。

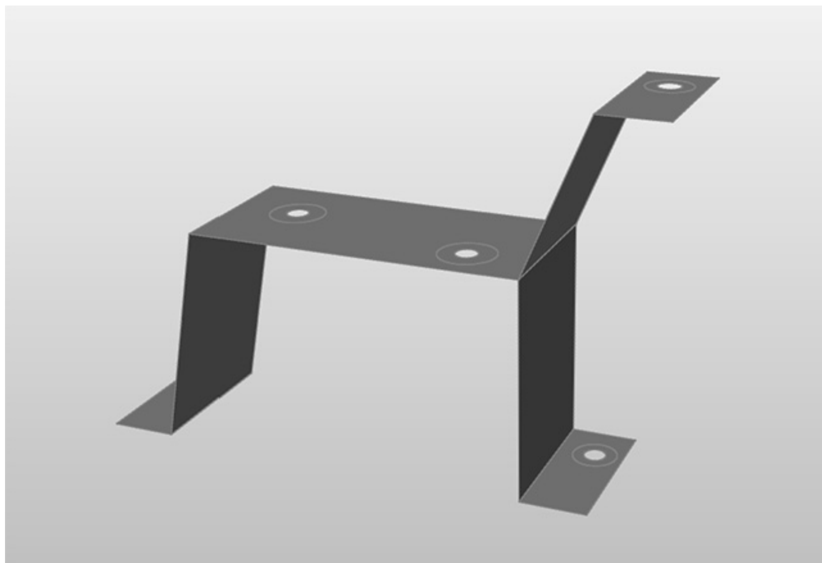


图 14-5

2）选择 tray 零件，然后在属性编辑器的质量属性下输入厚度 5 mm，如图 14-6 所示。

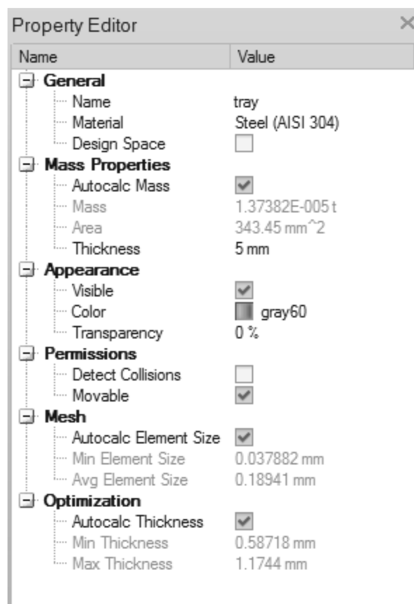


图 14-6

3）同样为 Bosses 零件分配 5 mm 的厚度。

4）选择结构仿真功能区中的接触工具，以搜索接触并旋转模型。

5）找到的接触在零件共有的边界上以粗红线表示，如图 14-7 所示。Inspire 采用零件到零件的接触定义，Boss 区域和主要结构位于独立的零件中，这是理想的做法。

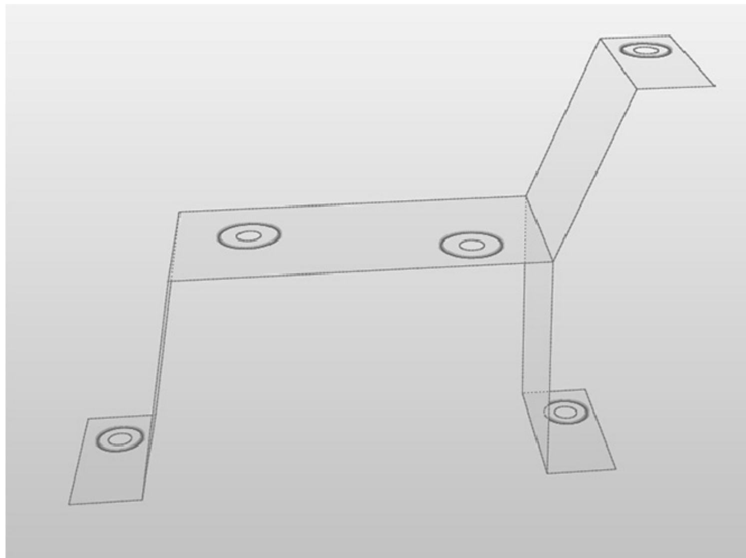


图 14-7

14.3 使用“中面”工具创建曲面

1）打开安装目录中 Tutorials 文件夹中的 midsurface_examples.stmod 文件，如图 14-8 所示。该模型包含若干个满足应用中面要求的薄实体。

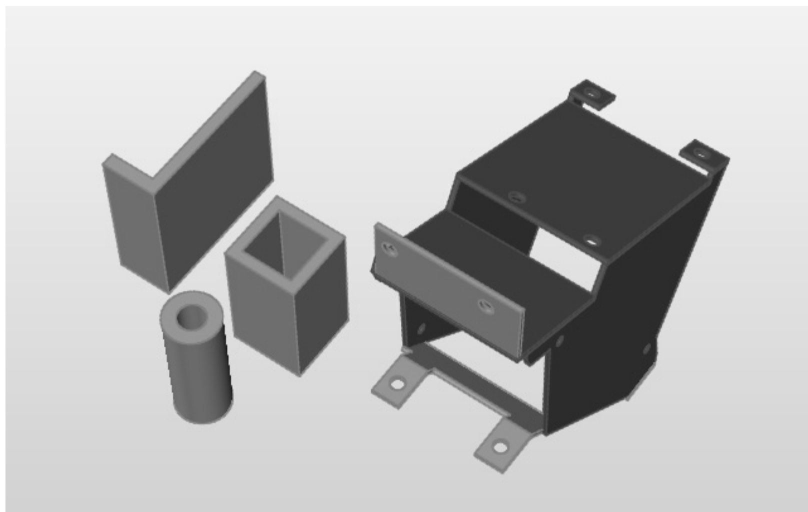


图 14-8

2）选择几何功能区中的中面工具，可以应用中面的零件显示为红色，如图 14-9 所示。

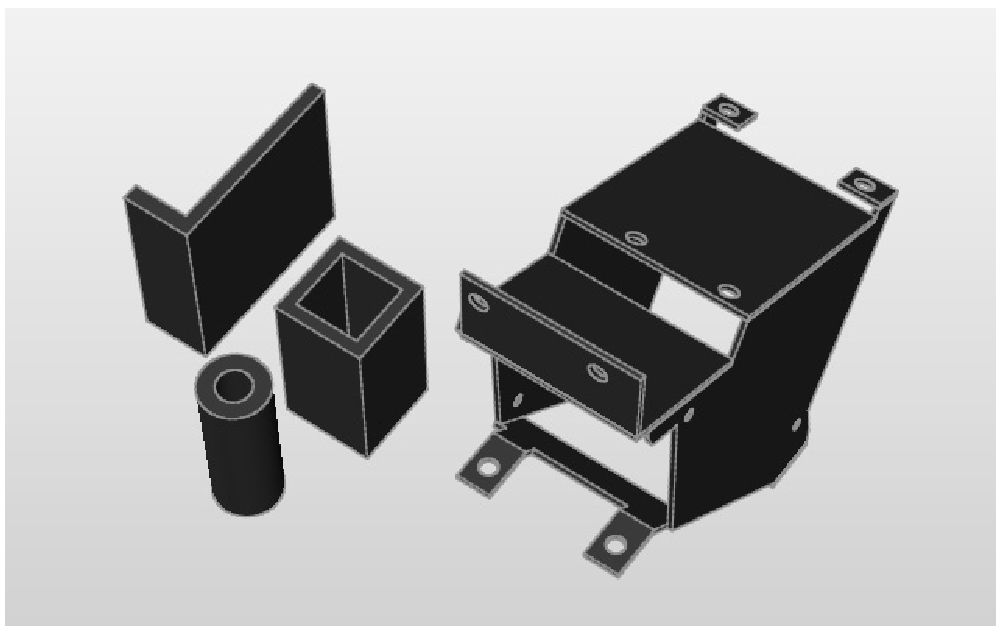


图 14-9

3）在模型视窗中选择 L 形零件，将其替换为中面。

4）右键单击退出该工具，然后选择新建的中面，如图 14-10 所示。

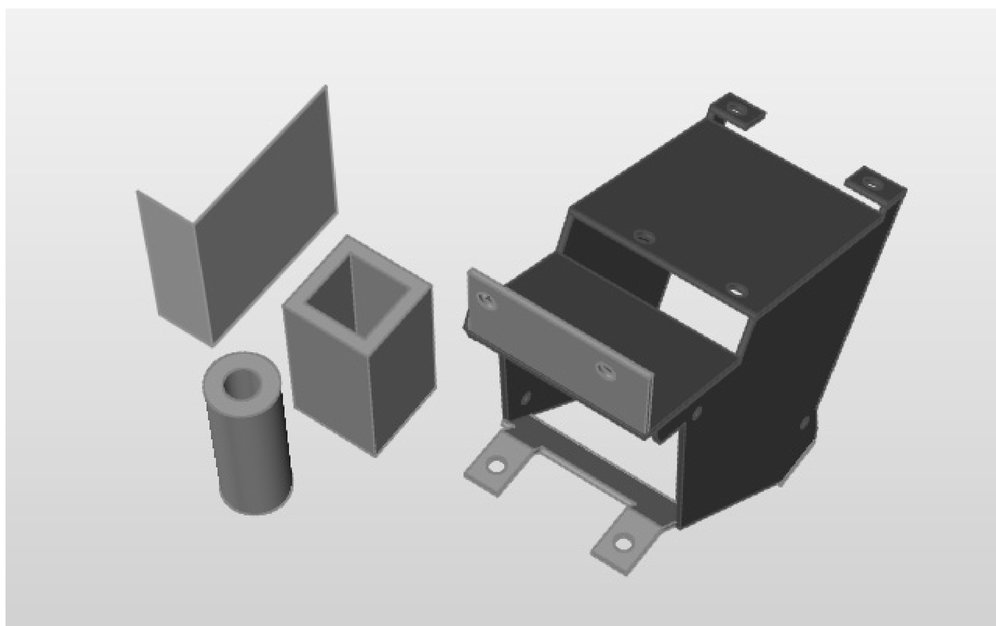


图 14-10

5）注意：已在属性编辑器中为该中面分配了厚度，如图 14-11 所示。

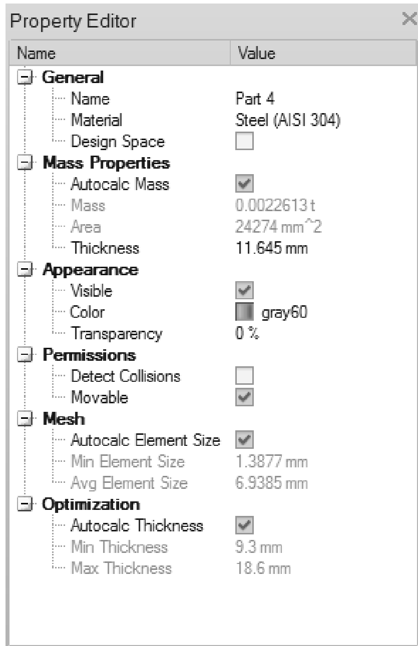


图 14-11

中面工具会自动计算厚度并将其分配给零件。使用另一种方法创建的曲面必须已在属性编辑器中分配厚度。

6）再次选择中面工具，然后单击操作栏上的中面按钮，为其他零件应用中面。

7）右击退出该工具。注意：虽然已组装支架装配中的零件正确应用了中面，但这些零件不一定对齐，如图 14-12 所示。

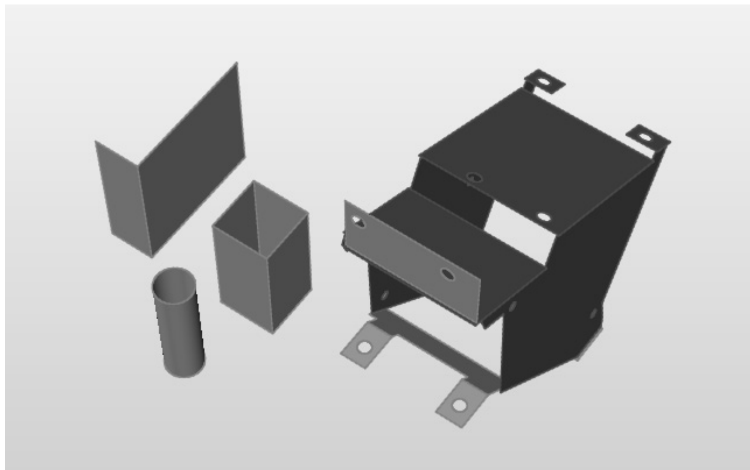


图 14-12

8）打开安装目录中 Tutorials 文件夹中的 plate.x_t 文件，如图 14-13 所示。

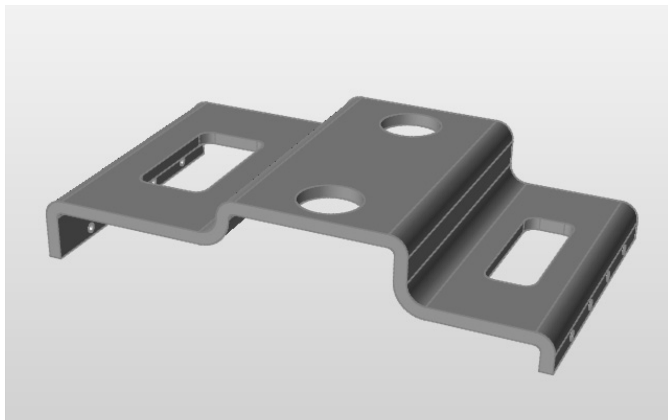


图 14–13

9）选择几何功能区中的中面工具。注意：即使零件带孔并弯曲，它也是等截面，满足有效薄实体的标准，并显示为红色，如图 14–14 所示。

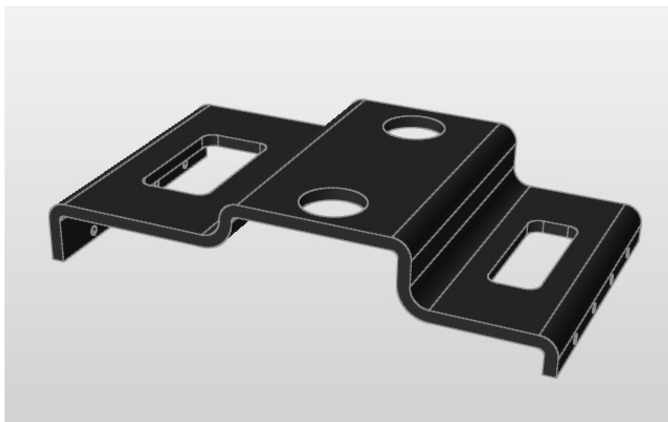


图 14–14

10）单击该零件以创建中面，然后右键单击退出该工具，如图 14–15 所示。

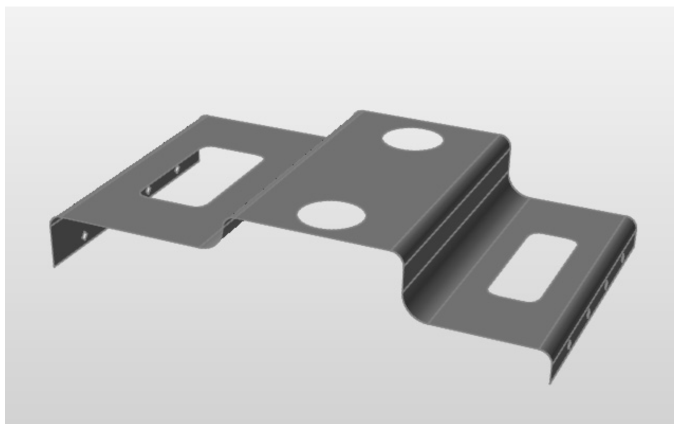


图 14–15

14.4 使用“补块”工具创建曲面

1）打开安装目录中 Tutorials 文件夹中的 x-tubes.stmod 文件，如图 14-16 所示。该模型是在 Inspire 中创建的简单 3D 结构，但也可以从 CAD 中导入。

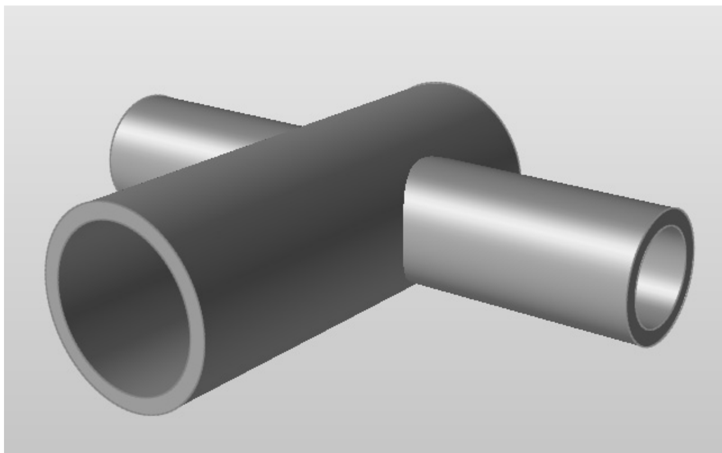


图 14-16

2）选择几何功能区的布尔运算工具。

3）从二级功能区中选择合并工具，弹出一个操作栏，且已选中目标。

4）在模型视窗中选择两个零件，然后单击操作栏上的合并按钮。

5）右击退出该工具。两个管子现在已合并为一个零件，如图 14-17 所示。

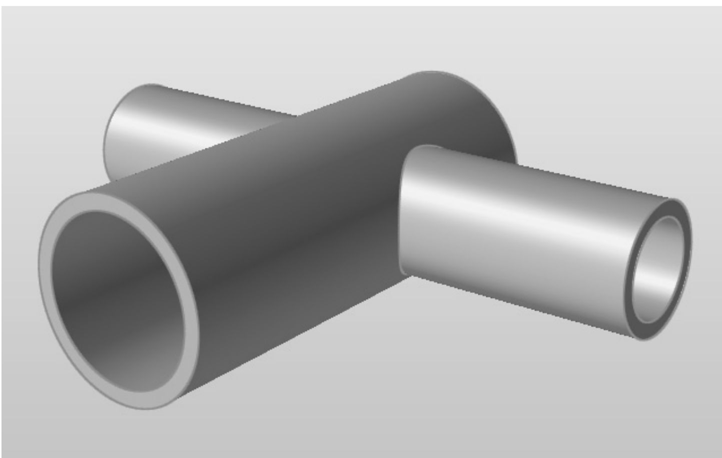


图 14-17

6）选择几何功能区中的补块工具。

7）单击其中一个管子的一个端面，将其选中（可能需要放大显示才能选中该面），如图 14-18 所示。

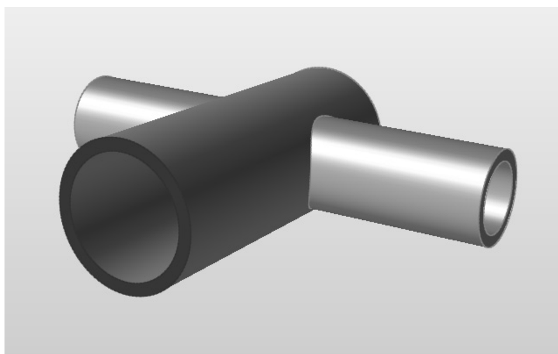


图 14-18

8）再次单击即可删除该面，如图 14-19 所示。删除后，该实体零件即变成一个曲面，属性编辑器中会显示面积，而非体积。

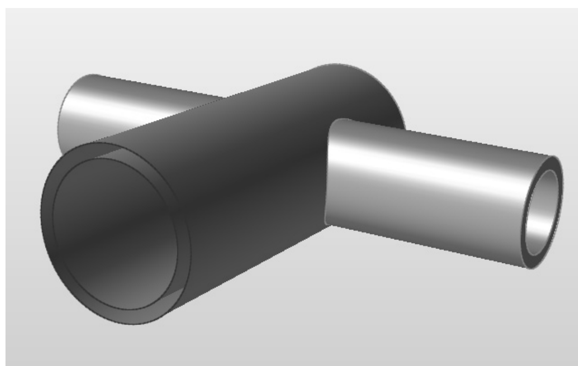


图 14-19

9）使用同样的步骤删除管子的其他 3 个端面，以及所有内表面。该模型应如图 14-20 所示。

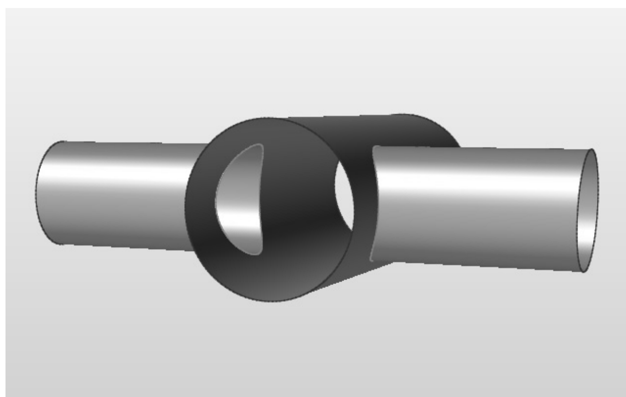


图 14-20

10）右键单击退出补块工具。

11）选中该零件，然后在属性编辑器中的厚度文本框中输入 5mm，如图 14-21 所示。注意：质量是自动计算得出的。

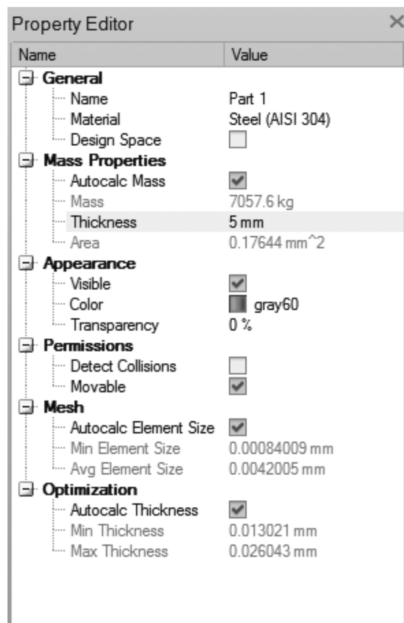


图 14-21

12）对模型施加载荷和固定约束，以便进行分析或优化。打开位于 Tutorials 文件夹中的 x-tubes_RUN.stmod 文件，查看加载的模型和分析结果。

14.5　优化 2D 曲面模型

1）打开安装目录中 Tutorials 文件夹中的 2dtopology_and_contact.stmod 文件，如图 14-22 所示。该模型包含几何体和载荷。

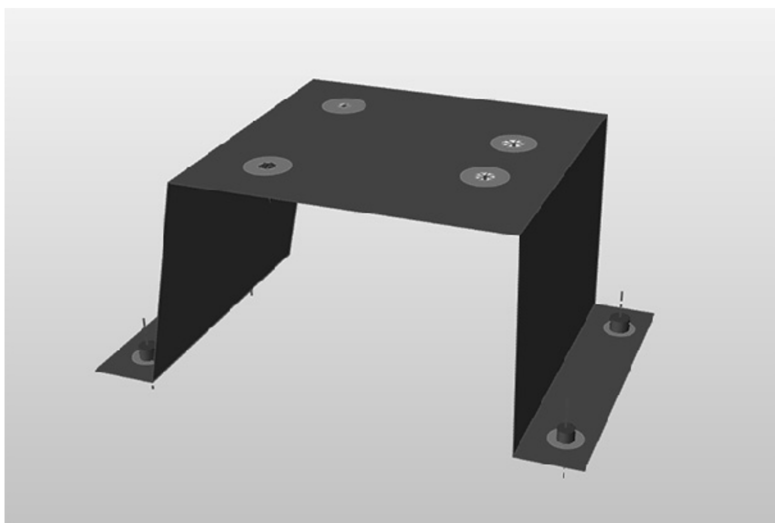


图 14-22

2）选择 tray 零件，然后在属性编辑器的质量属性下输入厚度 3 mm，如图 14-23 所示。

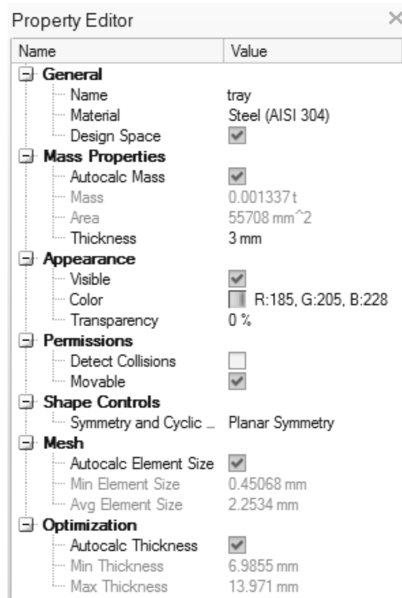


图 14-23

3）为零件 1 和零件 2 分配 3 mm 的厚度。

4）右键单击 tray 零件，打开右键菜单，并将该零件指定为设计空间，如图 14-24 所示。

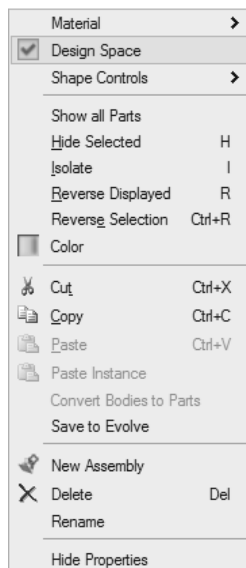


图 14-24

5）选择结构仿真功能区上的添加/编辑对称控制工具。

6）从二级功能区中选择对称的工具。

7）选中 tray 零件，以施加对称平面，如图 14-25 所示。

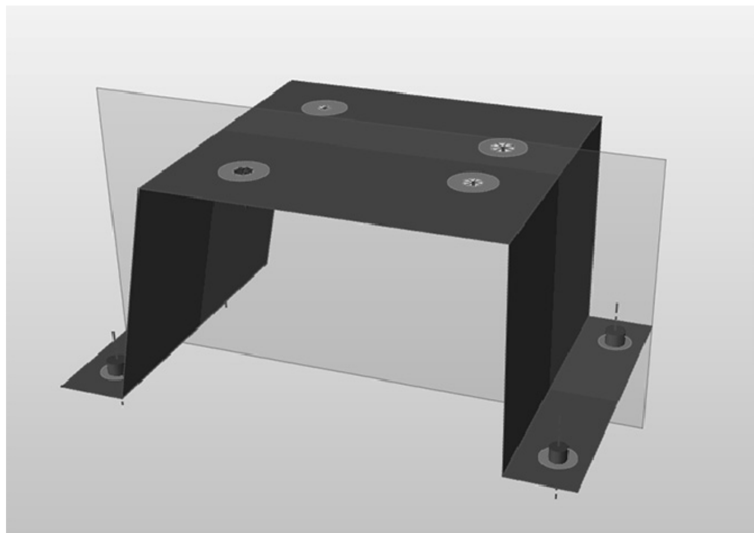


图 14-25

8）单击优化图标上的▶按钮，将质量目标设置为 25%、最小厚度设置为 15mm，如图 14-26 所示。

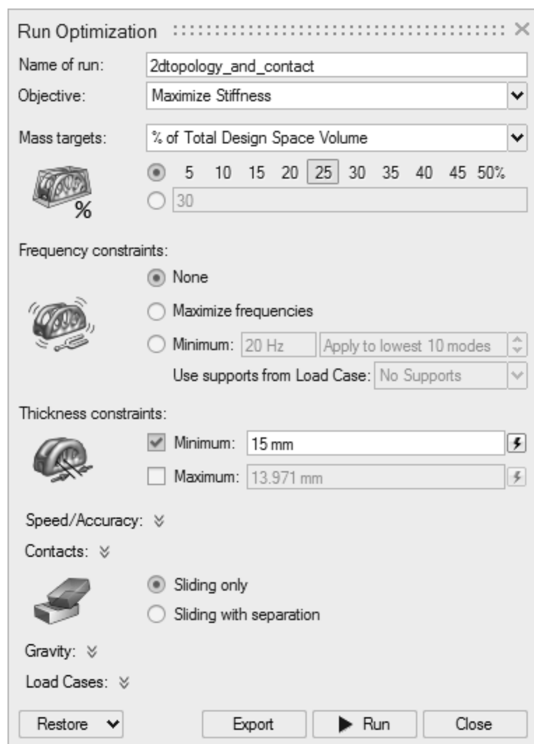


图 14-26

9）单击 Run 按钮，当优化完成后，双击运行名称，打开形状探索器并检查结果。注意：运行时间短、结果独立是对片状和板状结构应用曲面模型的益处所在。

10）单击形状探索器上的分析按钮，对优化后的形状执行再次分析，加载并查看结果。

14.6 扩展阅读

1. 补块

使用补块工具填补缺失的面，或移除并重制受损或存在问题的面，如图 14-27 所示。可通过功能区的几何选项卡进入。

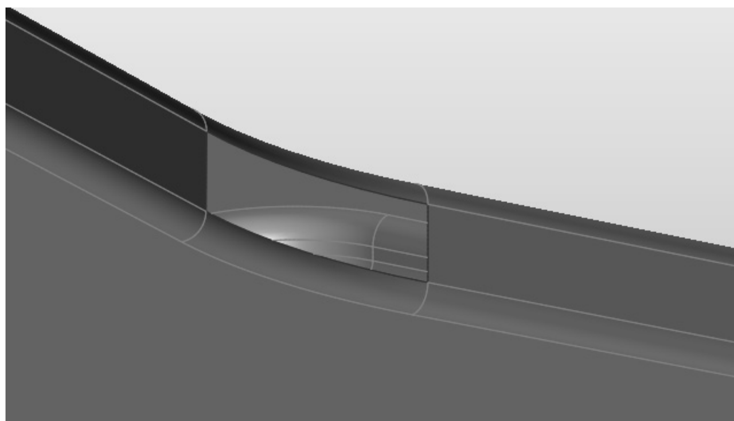


图 14-27

2. 补块和桥接

如果补块工具查找到一组可构成闭环的开放边，则可拼接开放区以创建一个实体，如图 14-28 所示。

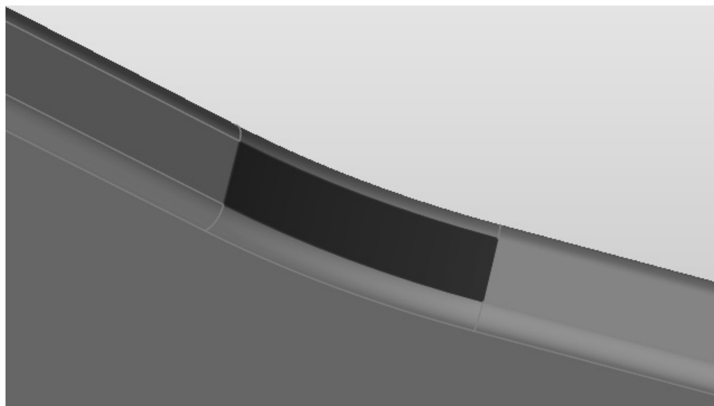


图 14-28

如果选择两条不能构成封闭区域的开放边，则补块工具会创建一个桥接，如图 14-29 所示。

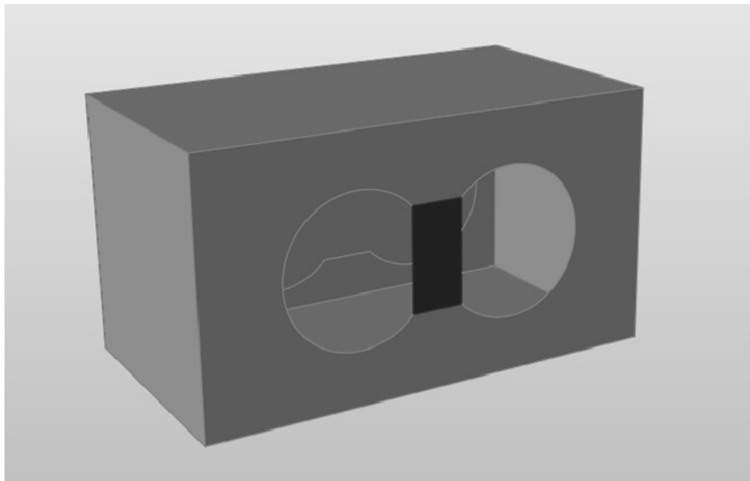


图 14–29

3. 填补所有缺失的面

1）选择补块工具，弹出一个操作栏。

2）查找操作即会自动执行。模型中的所有开放边会高亮显示为红色，其总数将显示在补块工具上方的计数器中。

3）要查看所有缺失面的位置，请使用操作栏或键盘上的箭头键在模型上从一个面移至下一个面，如图 14–30 所示。



图 14–30

4）单击补块按钮填补该工具查找到的所有缺失面。

5）操作完成后，右键单击或按〈Esc〉键退出工具。

4. 逐个填补缺失的面

1）选择补块工具，弹出一个操作栏。

2）查找操作即会自动执行。模型中的所有开放边会高亮显示为红色，其总数将显示在补块工具上方的计数器中。

3）要查看所有开放边的位置，请使用操作栏或键盘上的箭头键在模型上从一条边移至下一条边。

4）单击一条选定的红色边尝试拼接。如果拼接成功，则新拼接的面会显示为红色。

- 如果不想要生成的面，则单击红色面将其删除。必须通过选择边来尝试定义一个要桥接或补块的区域。
- 要更改与相邻面相交的拼接边的连续性，请单击该边。连续单击会使连续性在线性与相切之间切换。

5）操作完成后，右键单击或按〈Esc〉键退出工具。

5. 定义要补块或桥接的区域

1）选择补块工具，弹出一个操作栏。

2）单击操作栏上的 按钮，取消选定所有边。

3）逐个选择开放的边定义要补块的区域。

- 单击一条开放边将其选中，选中的开放边将变为红色。
- 如果有数条可构成封闭区的开放边，则选择一条相邻边即可将其添加到边串中。
- 按住〈Ctrl〉键并单击，以取消选定一条边。
- 按住〈Ctrl〉键并双击，以取消选定整串边。

4）选中所需的全部边后，单击边串执行拼接。

- 要创建一个面片，先选择一组可以构成封闭区边，然后单击其中一条已选定的边。
- 要创建一个桥接，手动选择两条边或多组不能构成封闭区的边，然后单击其中一条已选定的边。
- 要删除一个面，单击选择该面，然后再次单击即可将其删除。
- 要更改与相邻面相交的补块的连续性，请单击该边。连续单击会使连续性在线性与相切之间切换。

5）操作完成后，右键单击或按〈Esc〉键退出工具。

6. 删除面

1）选择补块工具，弹出一个操作栏。

2）单击一个面将其选中，该面将变为红色。

3）再次单击该面将其删除。

4）操作完成后，右键单击或按〈Esc〉键退出工具。

7. 操作栏选项

选择补块工具后，会弹出一个操作栏，用于自动查找并拼接缺失的面，见表 14-1。

表 14-1

操作栏中的选项	含　义
Find	单击操作栏中的 Find 按钮进行搜索，然后选择开放边。构成封闭区的数串开放边可作为单一实体
	使用操作栏或键盘上的箭头键可平移至上一个或下一个选定特征
	单击清除选择按钮取消选定所有开放边
Patch	单击补块按钮填补该工具查找到的所有缺失面

8. 键盘快捷键和鼠标控制

键盘快捷键和鼠标控制及其含义见表 14-2。

表 14-2

快捷键+鼠标控制	含　义
Ctrl + 单击	选定（或取消选定）一条边
Ctrl + 双击	选定（或取消选定）一串边

第 15 章

PolyNURBS 建模



拓扑优化的结果常常会出现空间结构。使用传统三维建模工具建模不仅建模过程困难，而且效率低下，并且边界融合困难，不光滑。本章介绍一种 Inspire 特有的多边形曲面建模方式。

本章学习要点如下：

- **创建剖切**。
- **使用包覆工具，并通过单击现有形状的轮廓快速生成 PolyNURBS 几何体**。
- **使用循环工具创建循环边**。
- **将 PolyNURBS 镜像到对称平面上**。
- **使用桥接工具合并镜像后的对象**。
- **查看 PolyNURBS 零件和非设计空间之间的接触**。

15.1 打开桥体模型

1）打开安装目录中 Tutorials 文件夹中的 BridgeOptimized.stmod 文件。

2）双击优化后的形状以打开形状探索器，并确认拓扑滑块位于五角星右侧的第三个刻度处，如图 15-1 所示。

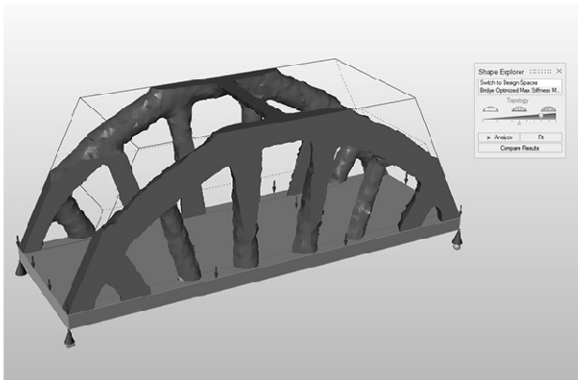


图 15-1

3）用鼠标右键单击退出形状探索器，然后单击取消选中优化后的结果。

15.2 创建剖切

1）选择视图控制中的剖切工具。

2）单击透明的剖面，然后单击小对话框上的 Y 按钮，如图 15-2 所示。

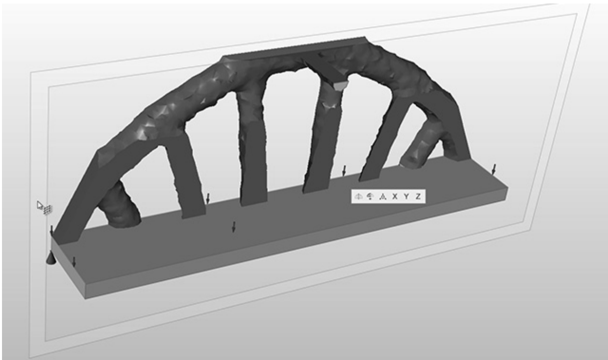


图 15-2

3）单击剖面窗口中的添加剖切按钮，如图 15-3 所示。

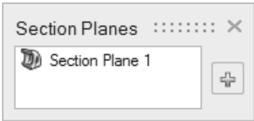


图 15-3

4）单击透明的剖面，然后单击小对话框上的 X 按钮，如图 15-4 所示。

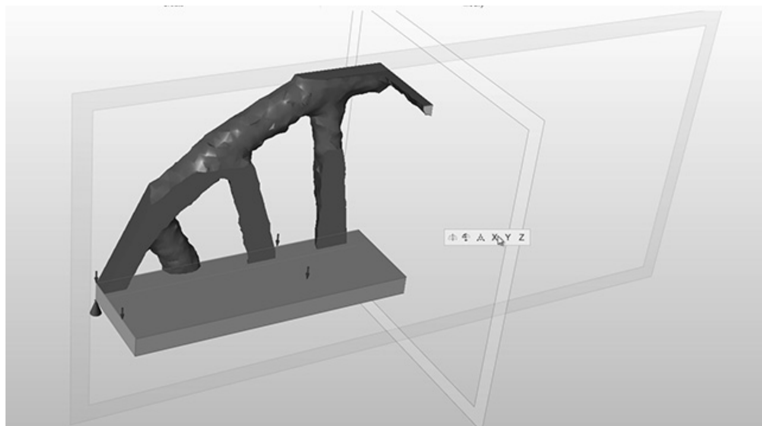


图 15-4



单击小对话框上的 图标，反转要显示的模型侧面。

5）右击退出该工具。

15.3 包覆优化后的形状

1）选择几何功能区的 PolyNURBS 工具。

2）从二级功能区中选择包覆工具。

3）将光标移至优化后的形状上预览初始剖面，然后单击鼠标左键开始在图 15-5 所示的位置创建 PolyNURBS。注意：在预览剖面时，可以反复移动鼠标来更改剖面的角度。

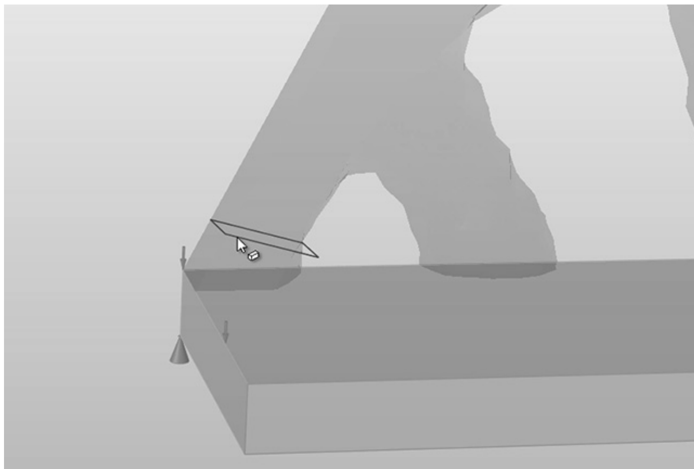


图 15-5

4）继续用鼠标左键沿优化后形状的顶拱单击，从而进行包覆，如图 15-6 所示。在顶拱中突出的支柱的每个侧面上放置一个剖面。

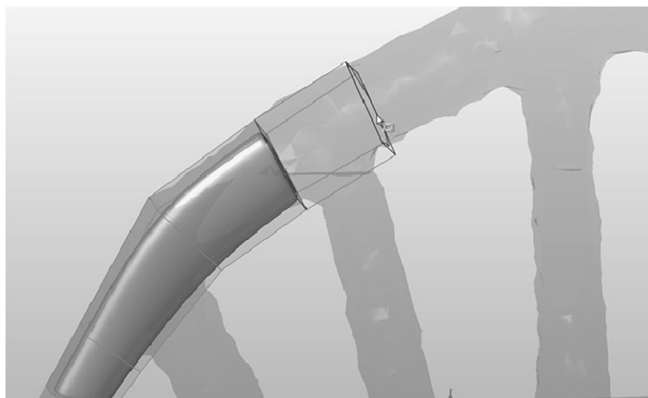


图 15-6

5）完成顶拱包覆后，单击模型视窗完成箱体，如图 15-7 所示。

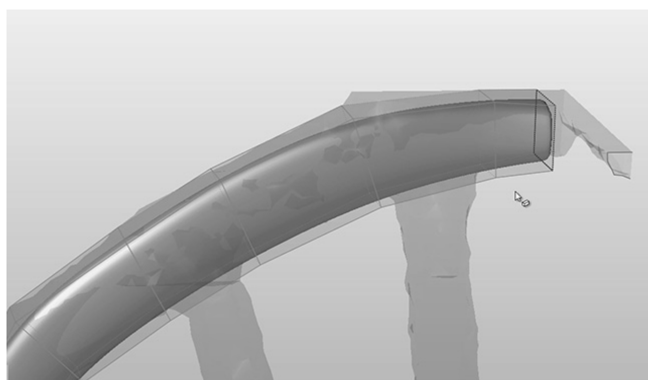


图 15-7

6）重复前述操作来包覆顶拱中突出的支柱。将光标移至箱体的一个面上并单击，开始为每个支柱创建一个新剖面。将光标移至面上（如桥体的底座），然后单击捕捉该面，如图 15-8 所示。

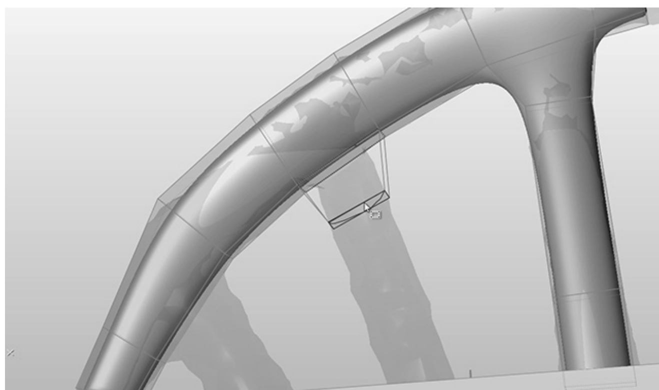


图 15-8

7）最后，将顶拱的底部连接至底座的顶面，如图 15-9 所示。

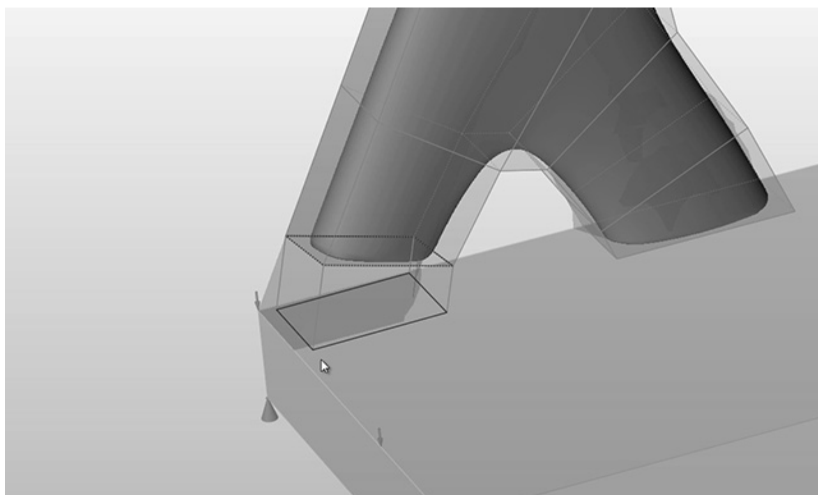


图 15-9

8）用鼠标右键单击退出包覆工具。主要的添加/编辑 PolyNURBS 工具现已激活。

15.4 编辑 PolyNURBS

1）旋转模型，以便选中桥体的外表面，如图 15-10 所示。

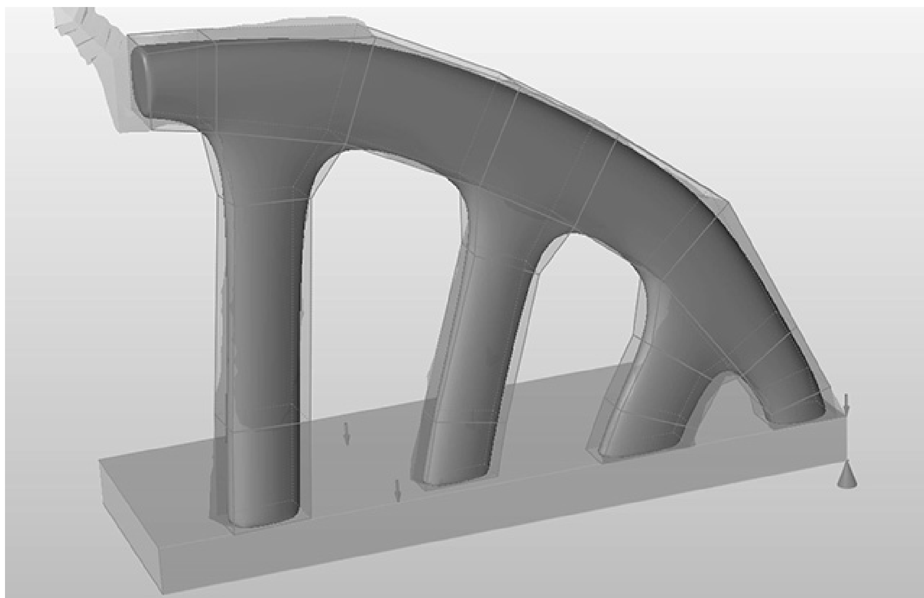


图 15-10

2）双击 PolyNURBS 的外表面，选中 30° 角内所有的箱体面，如图 15-11 所示。

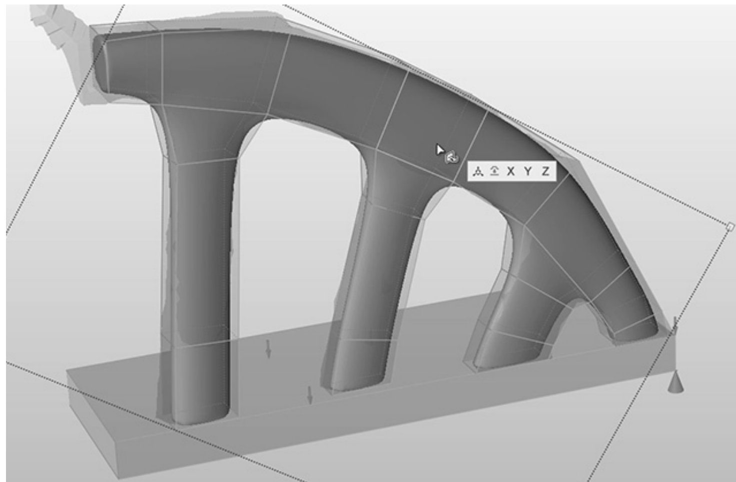


图 15-11

3）单击小对话框上的 Y 按钮，让所有面沿 y 轴变平，以其便处于同一平面上，如图 15-12 所示。



图 15-12

4）单击并拖动变平后的面，通过捕捉到底座的中点，使这些面与底座的外表面齐平，如图 15-13 所示。

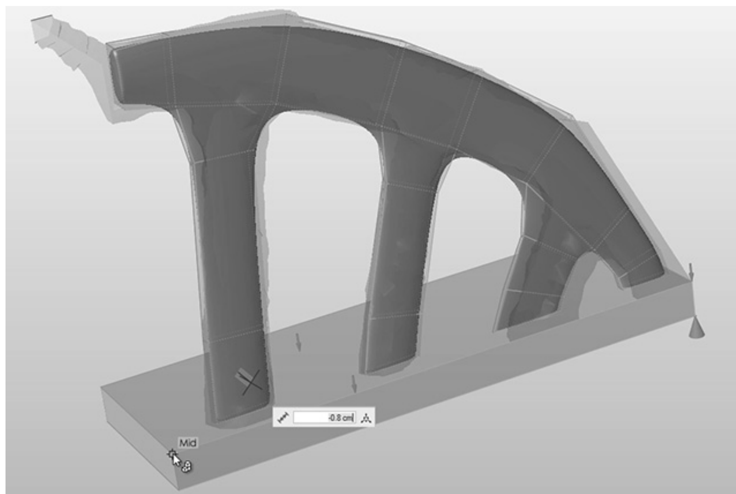


图 15-13

5）旋转模型，以便框选箱体底部的一整行点。

6）选择小对话框中的移动工具。双击该工具的中点进入编辑模式，并使用小对话框上的图标使移动工具对齐至全局坐标系，如图 15-14 所示。

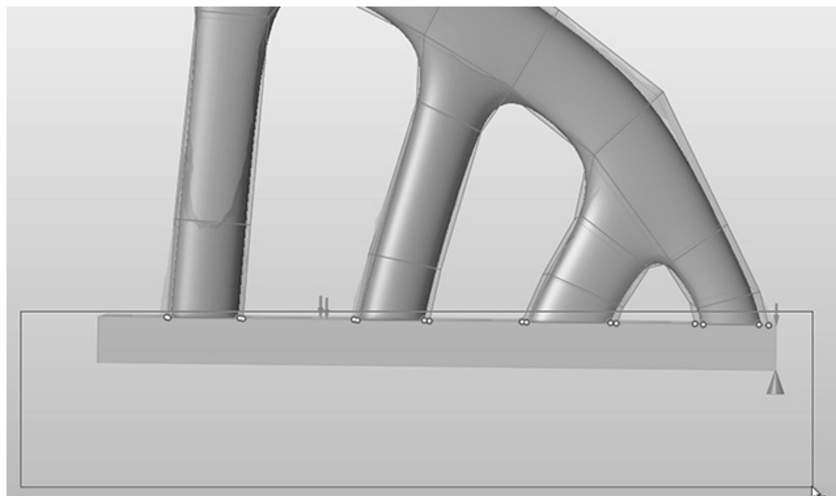


图 15-14

7）向下移动选中的箱体点，使其穿透桥体的底座，如图 15-15 所示。

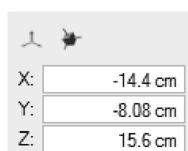


图 15-15

将 PolyNURBS 对象捕捉到非设计空间的面时，会创建底切，从而在模型上创建受压区域，如图 15-16 所示。

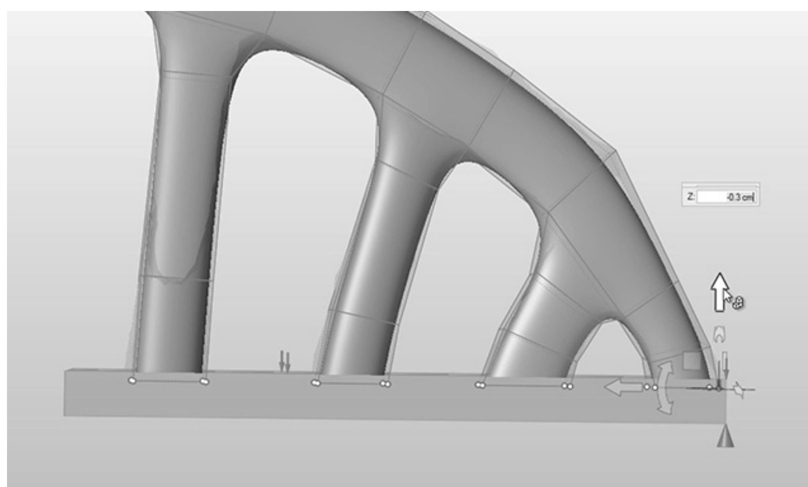


图 15-16

8）右击退出移动工具。

15.5　包覆桥体顶部

1）单击并拖动桥体顶部的面使其扩大，如图 15-17 所示。

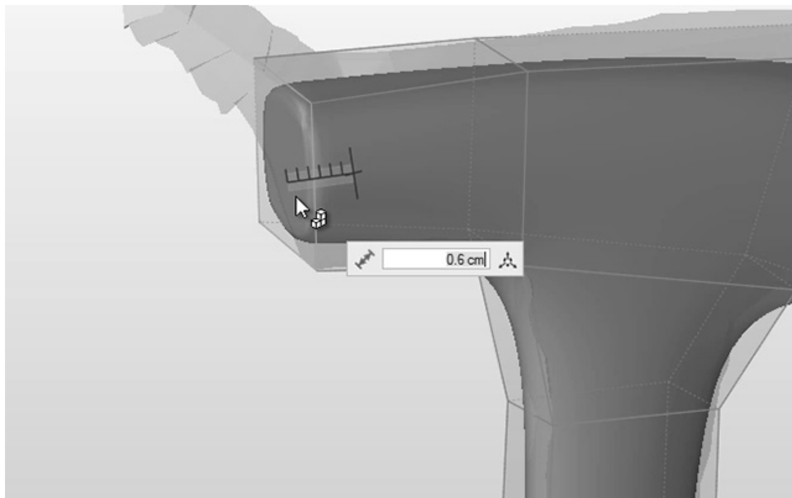


图 15-17

2）单击面的底边并将其移向底座，从而扩大该面，如图 15-18 所示。

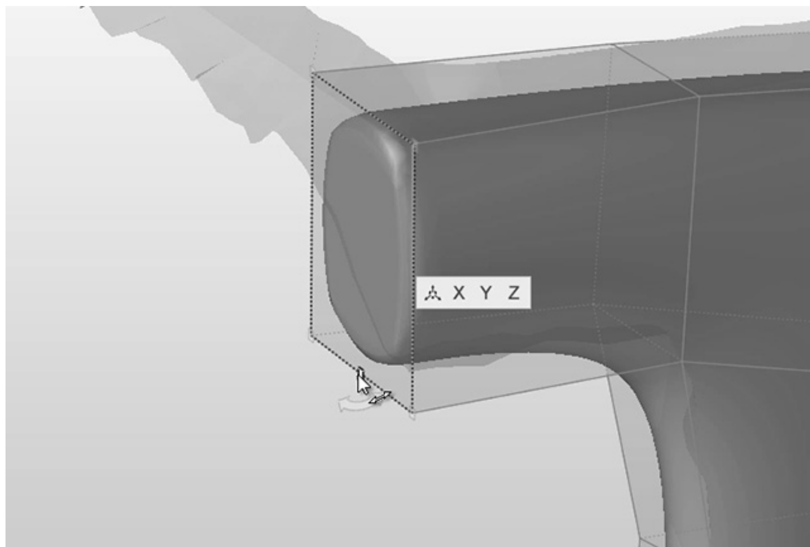


图 15-18

如果单击一个面，并将光标悬停在边上，则可以移动或旋转箱体的面和边。

3）按住〈Shift〉键并单击箱体的边，即可创建一个平行于面的循环，如图 15-19 所示。

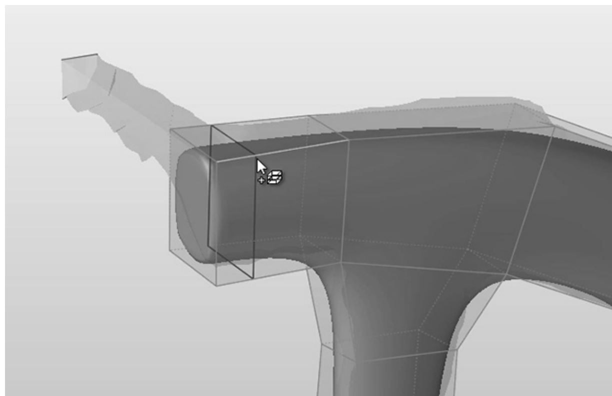


图 15-19

4）创建另一个垂直于第一个循环的循环，如图 15-20 所示。请注意，该操作已创建多个较小的面。

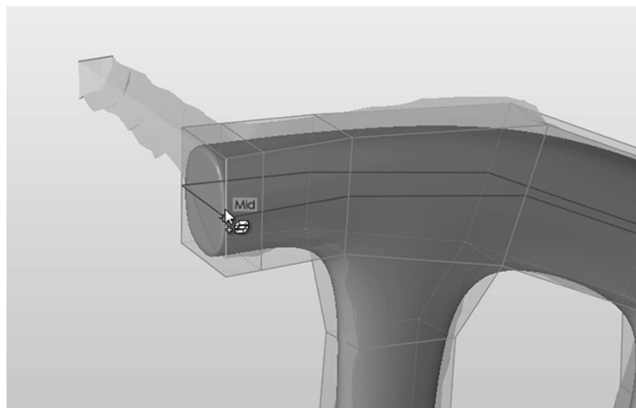


图 15-20

5）选择二级功能区中的包覆工具，然后单击图 15-21 中所示的面。

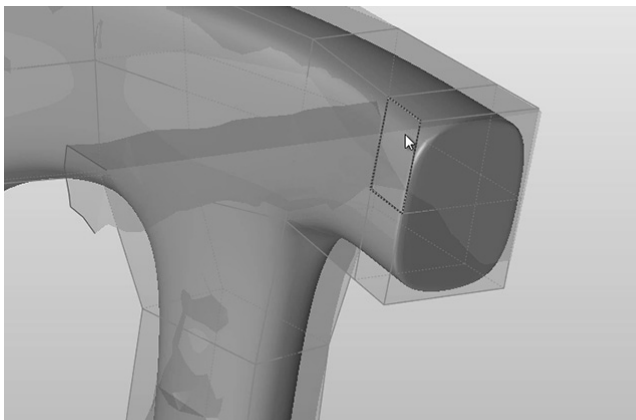


图 15-21

6）包覆桥体顶部的整个杆，从而完成 PolyNURBS，如图 15-22 所示。

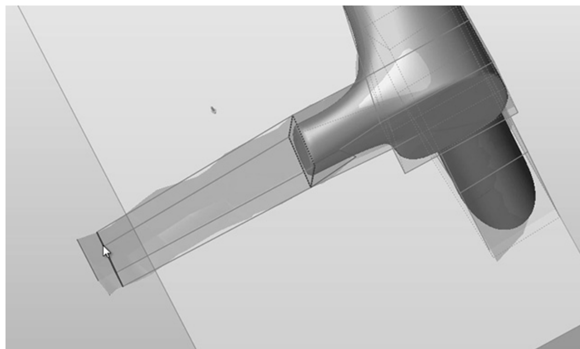


图 15-22

7）右击退出包覆工具，然后进入编辑模式。

8．选中图 15-23 中所示的面，然后单击小对话框上的 X 按钮，使该面对齐平面。

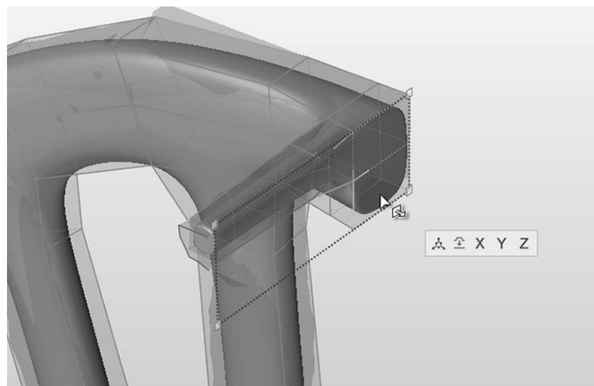


图 15-23

9）选中图中所示的面，然后单击小对话框上的 Y 按钮，使该面对齐平面，如图 15-24 所示。

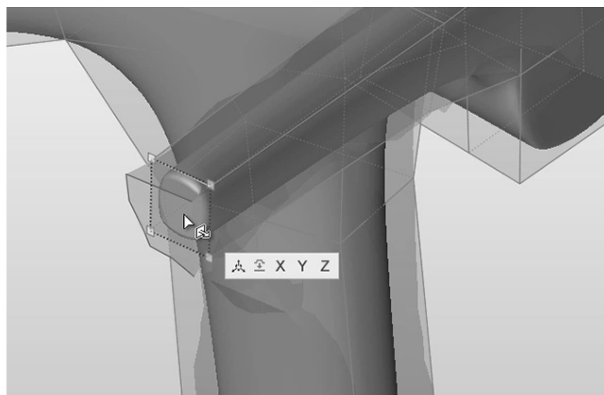


图 15-24

15.6 关闭剖切并对齐箱体的面

1）选择视图控制中的剖切工具 。

2）单击剖面窗口中的图标以关闭两个剖面优化后的完整形状再次可见，如图 15-25 所示。

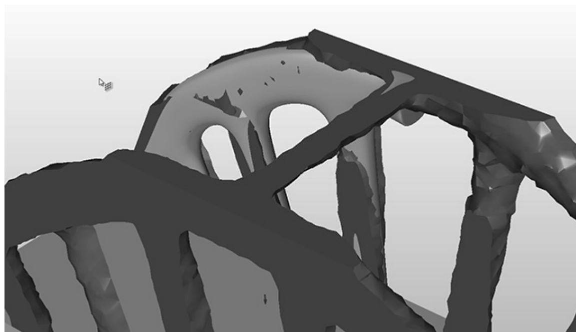


图 15-25

3）单击并拖动图 15-26 中所示的箱体面，将其捕捉到底座的中点。

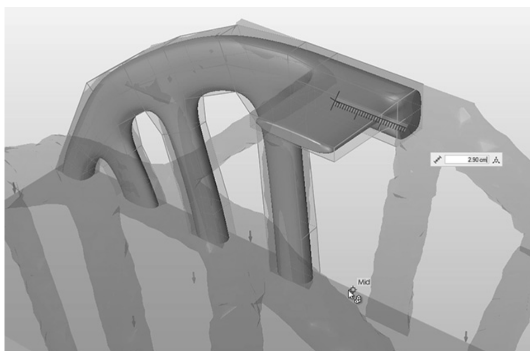


图 15-26

4）单击并拖动图 15-27 中所示的箱体面，将其捕捉到底座的中点。

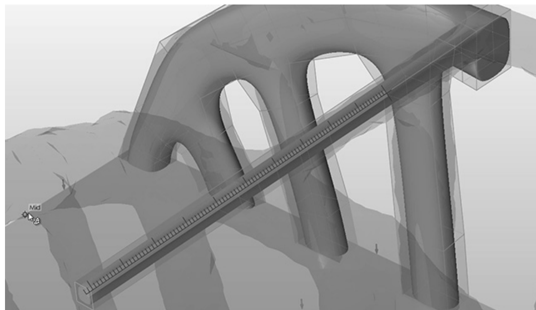


图 15-27

5）箱体面现已对齐，可以正确地进行镜像，如图 15-28 所示。

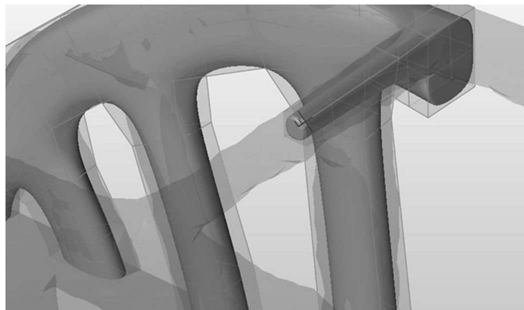


图 15-28

6）右击退出 PolyNURBS 工具。

7）选中优化后的形状（而不是 PolyNURBS），然后按〈H〉键将其隐藏，如图 15-29 所示。

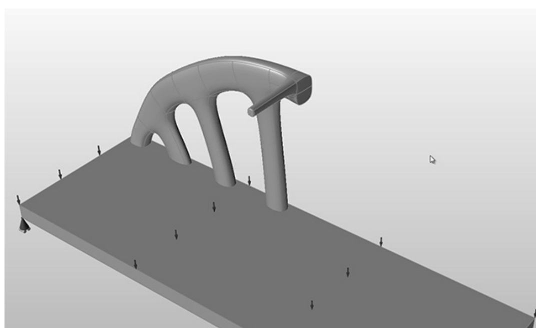


图 15-29

15.7 镜像 PolyNURBS

1）选择几何功能区中的镜像工具。

2）选中图 15-30 所示的面作为镜像平面，将光标悬停在该面上，然后将鼠标移动至一个捕捉点，以确保选中正确的平面。

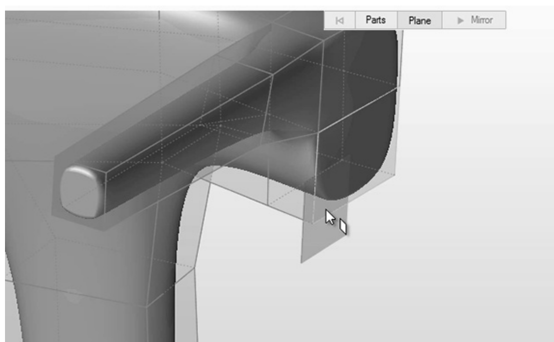


图 15-30

此时出现镜像对象预览，并以红色显示，如图 15-31 所示。

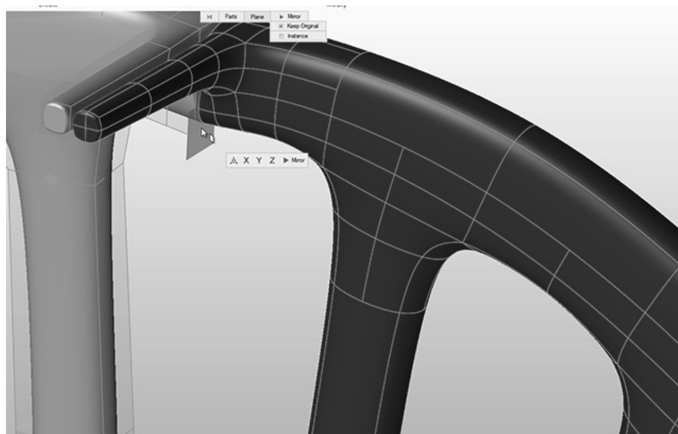


图 15-31

3）单击小对话框上的镜像按钮，完成第一次镜像操作，如图 15-32 所示。

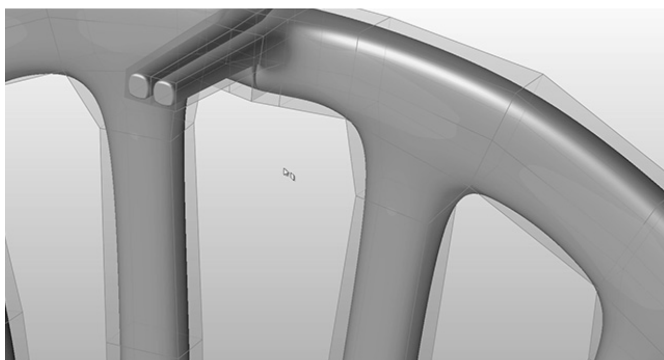


图 15-32

4）镜像工具仍处于激活状态时，选中图 15-33 所示的面作为镜像平面。

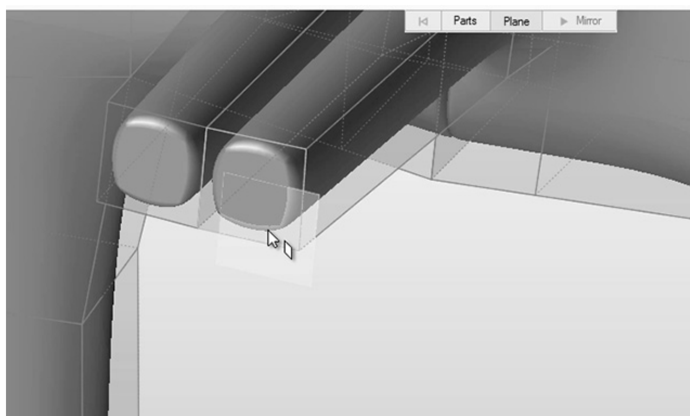


图 15-33

此时出现镜像对象预览，并以红色显示，如图 15-34 所示。

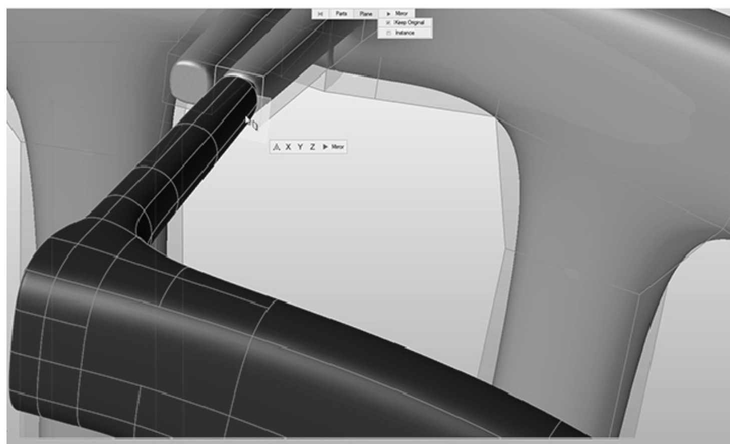


图 15-34

5）按住〈Ctrl〉键，然后选择相邻的面，将其添加到选择中，如图 15-35 所示。

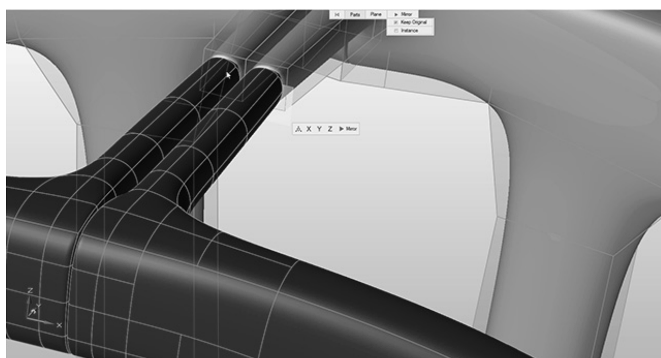


图 15-35

6）单击小对话框上的镜像按钮，完成第二次镜像操作，如图 15-36 所示。

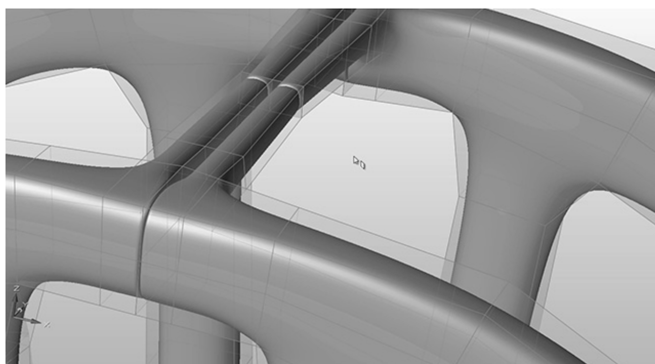


图 15-36

7）右击退出该工具。

15.8　为镜像后的零件应用桥接

1）选择几何功能区的 PolyNURBS 工具。

2）从二级功能区中选择桥接工具。

3）多个面显示为红色。框选所有的红面，将其合并为一个单一的 PolyNURBS 对象，如图 15-37 所示。

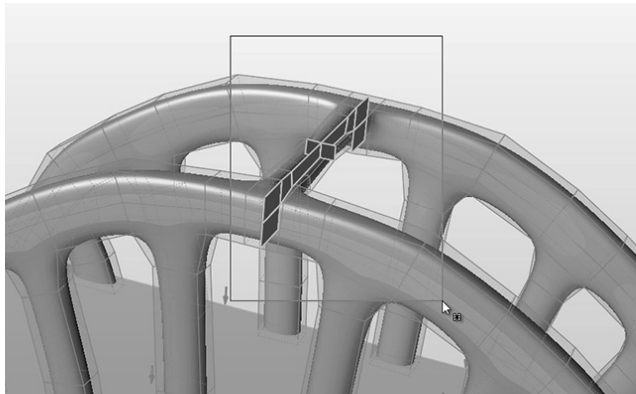


图 15-37

4）右击退出该工具。

15.9　对最终的 PolyNURBS 对象执行布尔运算

1）选择几何功能区中的布尔运算工具。

2）从二级功能区中选择减去工具。

3）将 PolyNURBS 对象选作目标，如图 15-38 所示。

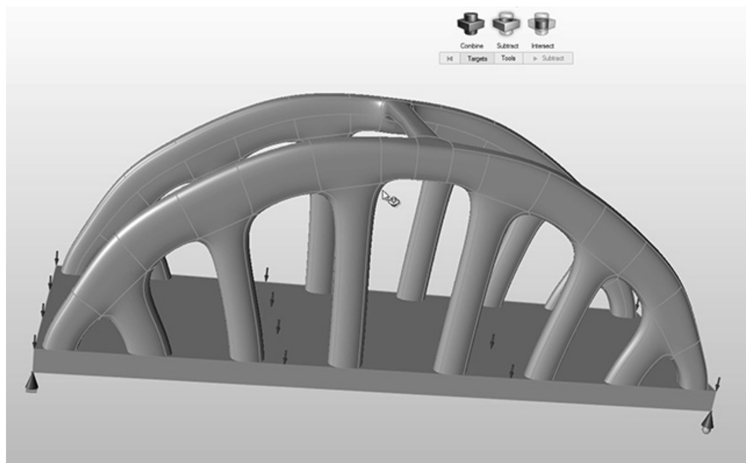


图 15-38

4）单击操作栏上的工具，然后选中底座零件，如图 15-39 所示。

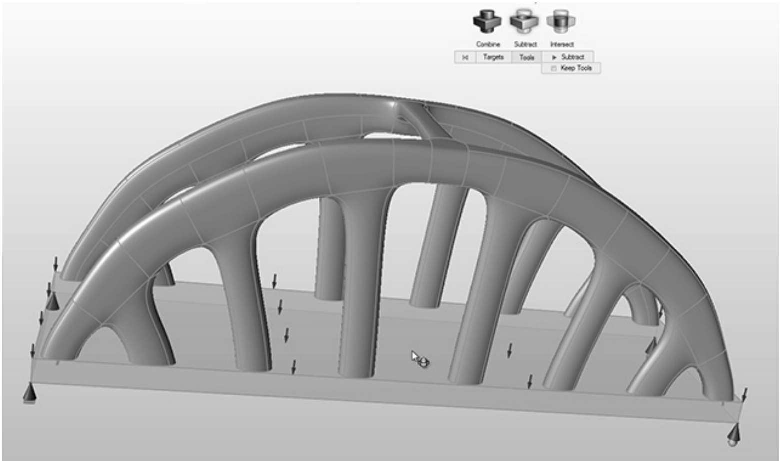


图 15-39

5）单击操作栏上的减去，然后选择保留工具选项，如图 15-40 所示。

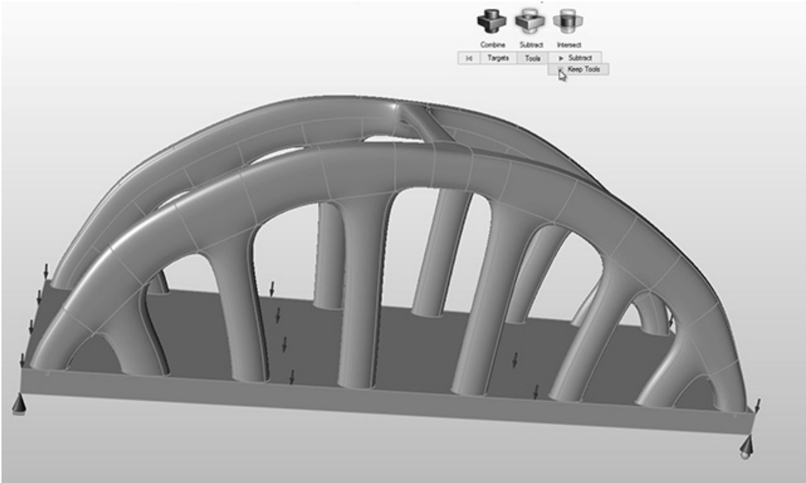


图 15-40

6）右击退出该工具，如图 15-41 所示。

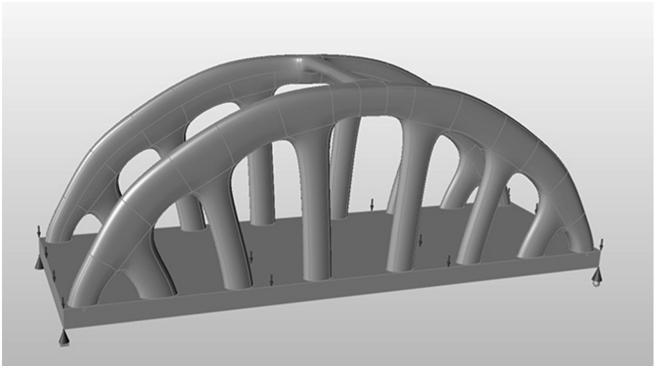


图 15-41

7）选择结构仿真功能区的接触工具。PolyNURBS 和底座接触的区域显示为红色，如图 15-42 所示。

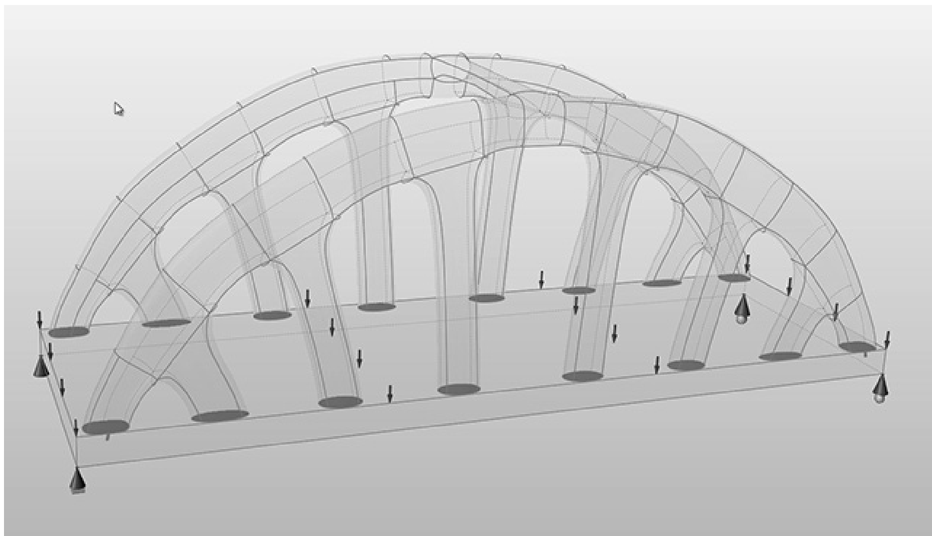


图 15-42

15.10 扩展阅读

1. 锐化

使用锐化工具沿 PolyNURBS 各边控制锐度。通过几何功能区的 PolyNURBS 工具可以打开锐化工具。

单击一条边或一个面，即可在 3 种锐化程度之间循环，如图 15-43 所示。预览会显示当前施加的锐化程度。使用框选对箱体的所有外边施加程度相同的锐化。

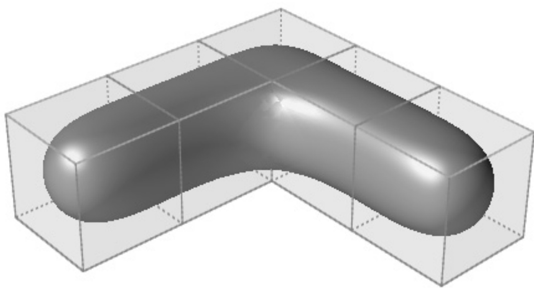


图 15-43

2. 锐化面的边

1）在功能区的几何选项卡中选择 PolyNURBS 工具。

2）从二级功能区中选择锐化工具。

3）在模型视窗中选择一条边或一个要锐化边的面。默认施加最小锐度。重复单击可在最小、中等和最大锐度之间循环。

4）根据需要选择其他面或边进行锐化。操作完成后，右击退出锐化工具。

5）继续编辑 PolyNURBS直到其符合要求，然后右击或按〈Esc〉键退出 PolyNURBS 主工具。

使用 +/− 工具向现有的 PolyNURBS 箱体面添加方块。也可以按住〈Shift〉键删除方块。通过几何功能区的 PolyNURBS 工具可打开 +/− 工具。

3. 添加或删除箱体

1）在功能区的几何选项卡中选择 PolyNURBS 工具。

2）从二级功能区中选择 +/− 工具。

3）单击现有箱体的面可添加新的方块，或者按住〈Shift〉键的同时单击以删除方块。连续单击多次可快速建立基本的 PolyNURBS 形状。

4）操作完成后，右击退出 +/− 工具。

5）继续编辑 PolyNURBS 直到其符合要求，然后右击或按〈Esc〉键退出 PolyNURBS 主工具。

4. 循环

使用循环工具围绕箱体绘制循环边，细分 PolyNURBS 对象，如图 15-44 所示。创建细分可以在编辑箱体时更好地实施控制。通过几何功能区的 PolyNURBS 工具可以打开循环工具。

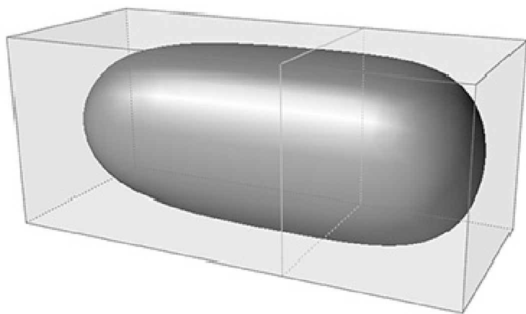


图 15-44

5. 添加循环

1）在功能区的几何选项卡中选择 PolyNURBS 工具。

2）从二级功能区中选择循环工具。

3）将鼠标光标移至现有的边上可预览循环。

4）单击现有箱体的边，创建垂直于该边的循环，会在所单击的点上创建一个循环，如图 15-45 所示。

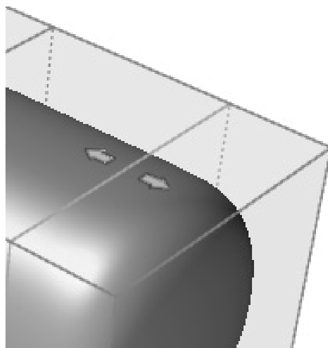


图 15-45

5）循环创建完成后，按住〈Ctrl〉键并选择该循环，进而调整其位置。

6）重复以上步骤创建其他循环。操作完成后，右击退出循环工具。

7）继续编辑 PolyNURBS 直到其符合要求，然后右击或按〈Esc〉键退出 PolyNURBS 主工具。

第 16 章

对比结果



执行优化或有限元分析时，通常会产生多个不同的模型和结果，相互之间会有细微的差异。“对比结果”功能允许以表格的形式显示和对比分析或优化运行。当前会话期间生成的或已载入 Inspire 的所有结果均可进行对比。与数据明细结合后，该功能还允许查看详细的分析结果。

本章学习要点如下：

- **创建分析结果的数据明细**。
- **对比分析结果**。
- **对比优化结果**。
- **更改正在对比的结果类型**。
- **显示对比表中的数据明细**。
- **为对比表中的列排序并添加列**。

16.1　打开模型并查看分析结果

1）打开安装目录中 Tutorials 文件夹中的 Compare_Analysis_Results.stmod 文件，如图 16–1 所示。

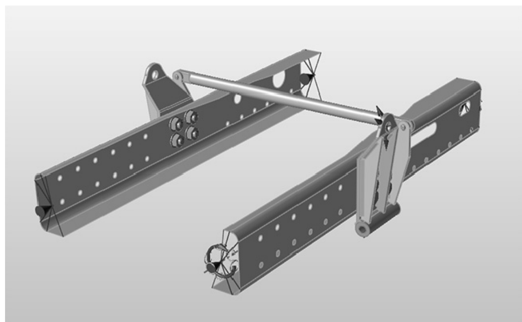


图 16–1

该模型有多个曲面零件和实体零件，以及 5 个不同的载荷工况，如图 16–2 所示。

2）选择结构仿真功能区中的显示分析结果工具，如图 16–3 所示。

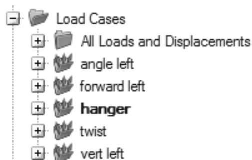


图 16–2

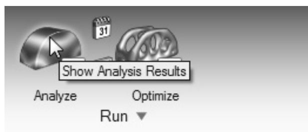


图 16–3

3）在分析探索器中，5 个载荷工况都会显示出来，每种工况都与 7 种不同的结果类型关联，如图 16–4 所示。

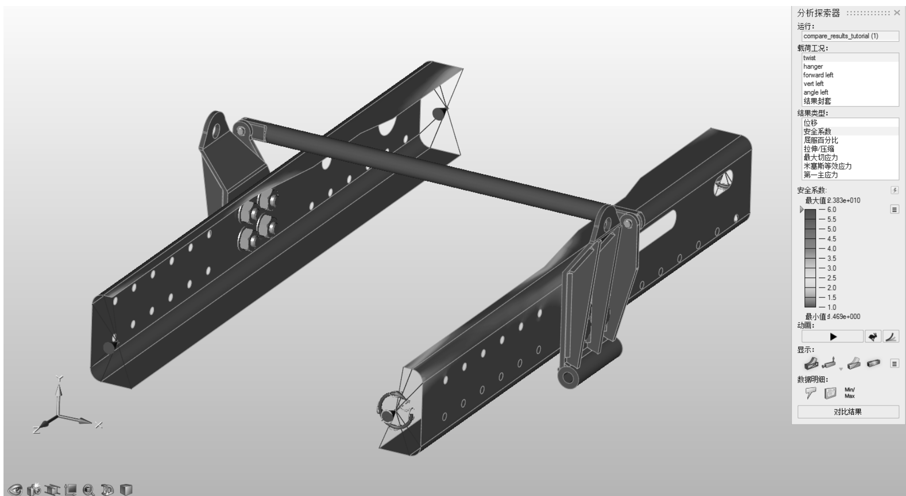


图 16–4

4）为结果类型选择安全系数，然后单击每个载荷工况。注意：如果不写每种载荷工况的最小结果，则很难对比每一种载荷工况的结果。

16.2 对比分析结果

1）单击分析探索器中数据明细下面的 Min/Max 图标，将在最小安全系数的位置上添加数据明细，如图 16-5 所示。

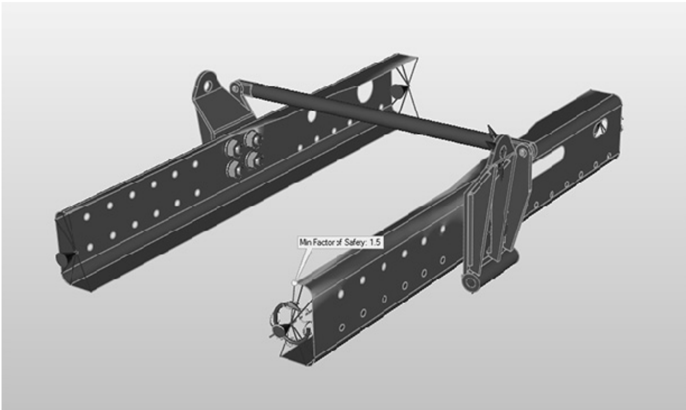


图 16-5

2）单击分析探索器上的对比结果按钮，5 个载荷工况的最小安全系数对比表将显示在模型视窗下方，如图 16-6 所示。

Run	Load Case	Mass Total	Min Factor of Safety
compare_results_tutorial (1)	angle left	0.01184...	3.42436
compare_results_tutorial (1)	forward left	0.01184...	1.08001
compare_results_tutorial (1)	hanger	0.01184...	3.52448
compare_results_tutorial (1)	twist	0.01184...	1.46897
compare_results_tutorial (1)	vert left	0.01184...	2.69565

图 16-6

3）单击表标题，然后选择位移，以更改要对比的结果类型，如图 16-7 所示。

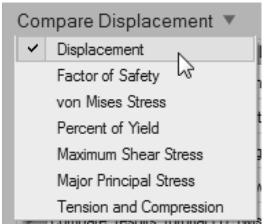


图 16-7

4）用鼠标右键单击对比表中的一个列标题，然后选择其他要显示为列的结果类型和参数，如图 16-8 所示。

对比 位移

运行	载荷工况	最大位移	最小安全系数	最大米塞斯等效应力	最大屈服百分比	最大切应力	第一主应力	拉伸与压缩
compare_results_tutorial (1)	hanger	0.213789 mm	3.52448	61.0019 MPa	28.373	23.0957 MPa	57.4021 MPa	61.0019 MPa
compare_results_tutorial (1)	angle left	0.686713 mm	3.42436	62.7854 MPa	29.2025	28.4606 MPa	71.747 MPa	62.7854 MPa
compare_results_tutorial (1)	vert left	0.566536 mm	2.69565	79.7581 MPa	37.0968	42.212 MPa	62.5974 MPa	64.845 MPa
compare_results_tutorial (1)	twist	1.8837 mm	1.46897	146.361 MPa	68.0749	61.0036 MPa	110.183 MPa	127.274 MPa
compare_results_tutorial (1)	结果封套	1.8837 mm	1.08001	199.072 MPa	92.5914	97.8527 MPa	226.695 MPa	199.072 MPa
compare_results_tutorial (1)	forward left	1.10163 mm	1.08001	199.072 MPa	92.5914	97.8527 MPa	226.695 MPa	199.072 MPa

图 16-8

5）单击最小安全系数列标题，按照该结果为分析运行排序，重复单击会在升序排列和降序排列之间进行切换。

6）排序后，一个箭头会出现在列标题上，表示该列是按升序或降序排列。单击该箭头可打开一个窗口，此时可在该窗口中选择要显示或过滤结果的运行和载荷工况，如图 16-9 所示。

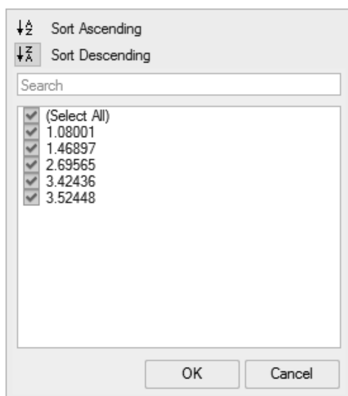


图 16-9

16.3 为模型添加数据明细

1）在分析探索器中选择“forward left”（载荷工况），如图 16-10 所示。

2）为结果类型选择米塞斯等效应力，并确定米塞斯等效应力最大的区域，如图 16-11 所示。

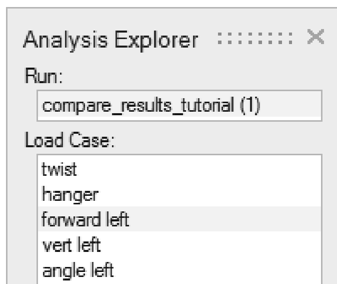


图 16-10



图 16-11

3）单击分析探索器中数据明细下面的 图标。

4）选择模型中米塞斯等效应力最大的点，以创建数据明细，如图 16-12 所示。

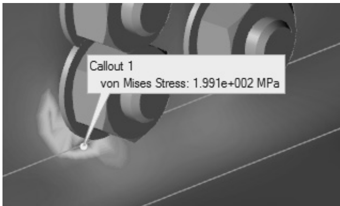


图 16-12

5）单击数据明细下面的 图标，以关闭最小/最大数据明细。

6）用鼠标右键单击数据明细，在弹出的快捷菜单中选择 Reuslt Types→X Displacement，还可以选择其他结果类型和衍生结果，如要在数据明细位置上显示的反作用力，如图 16-13 所示。

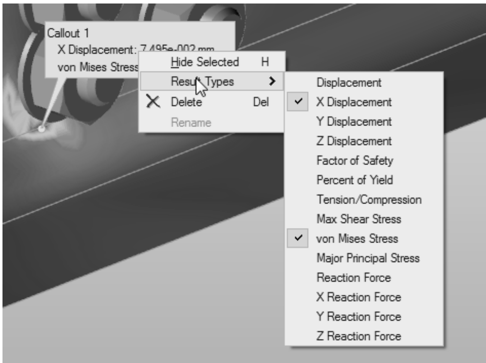


图 16-13

7）数据明细还可以显示在对比表中。

- 用鼠标右键单击表中的一个列标题，然后选择 Callout→Callout 1，将其作为一列添加到表中，如图 16-14 所示。
- 单击表标题，选择 Callout 1，以对比该数据明细位置上的不同结果类型。

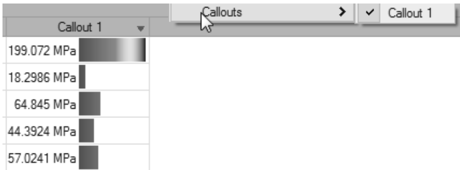


图 16-14

16.4 对比优化结果

1）打开安装目录中 Tutorials 文件夹中的 Compare_Optimization.stmod 文件，如图 16-15 所示。该模型有 3 种载荷工况、两组优化结果和两组重新分析的结果。

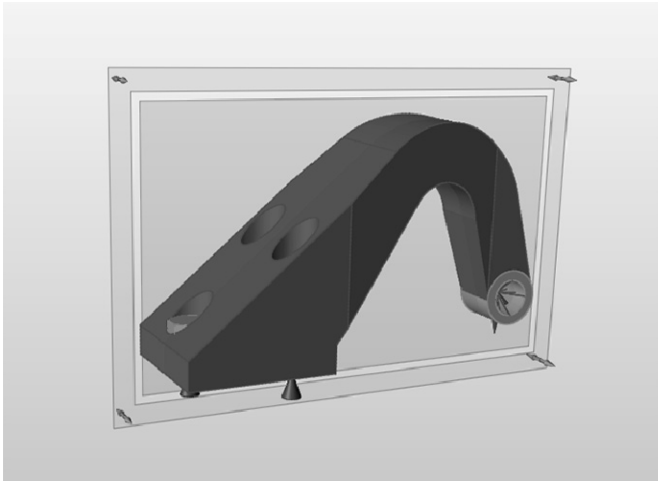


图 16-15

2）选择结构仿真功能区中的显示优化结果工具，如图 16-16 所示。

3）在形状探索器中，有两种不同的优化结果和不同的拓扑，如图 16-17 所示。

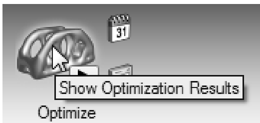


图 16-16

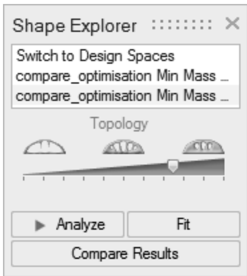


图 16-17

4）单击形状探索器上的对比结果按钮，会显示一个对比表，用于对比每次优化后的质量和柔量，如图 16-18 所示。

Compare Results

Run	Mass Total	Mass Part 1	Compliance
compare_optimisation Min Mass SF 1.2 (1)	0.00323...	0.00277...	11.45512
compare_optimisation Min Mass SF 1.2 (3)	0.00412...	0.00367...	14.4980...

图 16-18

5）用鼠标右键单击表中的一个列标题，然后选择形状控制、对称控制、载荷工况、目标和厚度，将这些列添加到表中，如图 16-19 所示。

对比结果

运行	质量 总计	质量 Part 1	刚度	对称控制 Part 1	载荷工况	目标	厚度（最小值）
compare_optimisation Min Mass SF 1.2 (1)	0.00323616 t	0.00277984 t	11.45512	Planar	5000, 7500, 10000	最小质量	15 mm
compare_optimisation Min Mass SF 1.2 (3)	0.0041276 t	0.00367128 t	14.498003	Planar	5000, 7500, 10000	最小质量	30 mm

图 16-19

6）双击第一行中的运行名称，然后双击第二行中的运行名称。注意：优化后的形状在模型视窗中的显示方式会根据表中所选的运行进行更新。

注意：第二个运行有一个双向拔模形状控制，其最小厚度是第一个运行的两倍。另外，在第一个运行中，优化后的形状质量为 3.24 kg，第二个运行的为 4.13 kg。这是理想的结果，同时设计上的约束更少，可以得到更理想的形状。使用传统方法制造第一个运行的结果时会比较复杂，导致成本增加。将这些结果汇总到表单中非常有助于评估设计概念。

16.5 对比重新分析的结果

1）选择结构仿真功能区中的显示分析结果工具，如图 16-20 所示。

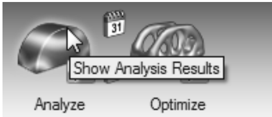
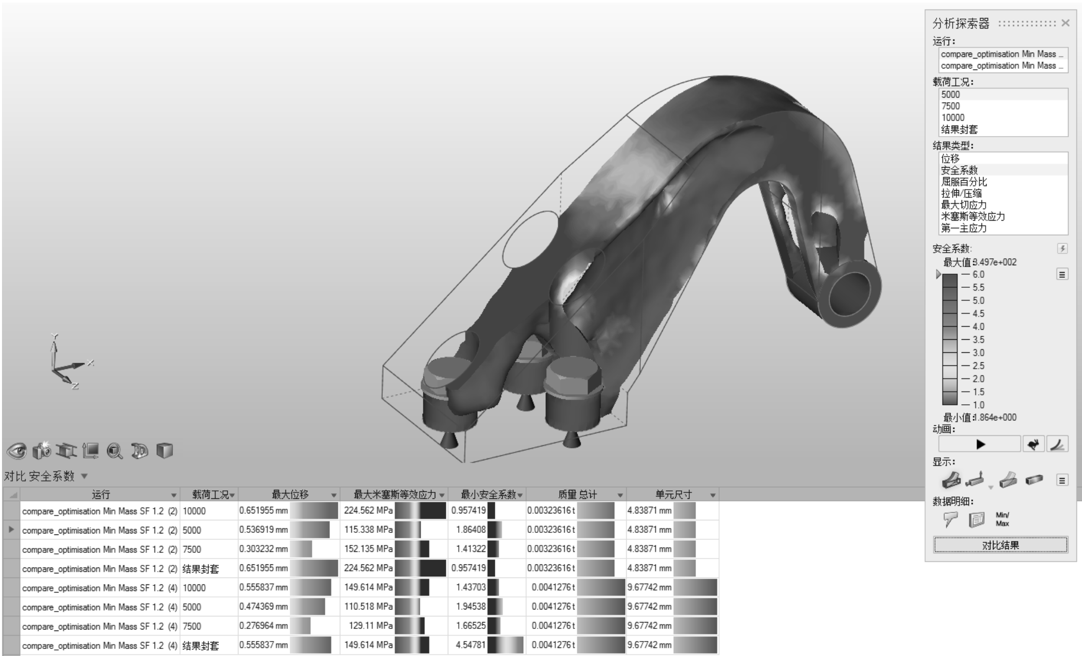


图 16-20

2）单击分析探索器上的对比结果按钮，每个运行和载荷工况下的总质量和最小安全系数对比表会显示在模型视窗下方。

3）用鼠标右键单击表中的一个列标题，然后选择最大位移、最大米塞斯等效应力和单元尺寸，将这些列添加到表中，如图 16-21 所示。



运行	载荷工况	最大位移	最大米塞斯等效应力	最小安全系数	质量 总计	单元尺寸
compare_optimisation Min Mass SF 1.2 (2)	10000	0.651955 mm	224.562 MPa	0.957419	0.00323616 t	4.83871 mm
compare_optimisation Min Mass SF 1.2 (2)	5000	0.536919 mm	115.338 MPa	1.86408	0.00323616 t	4.83871 mm
compare_optimisation Min Mass SF 1.2 (2)	7500	0.303232 mm	152.135 MPa	1.41322	0.00323616 t	4.83871 mm
compare_optimisation Min Mass SF 1.2 (2)	结果封套	0.651955 mm	224.562 MPa	0.957419	0.00323616 t	4.83871 mm
compare_optimisation Min Mass SF 1.2 (4)	10000	0.555837 mm	149.614 MPa	1.43703	0.0041276 t	9.67742 mm
compare_optimisation Min Mass SF 1.2 (4)	5000	0.474369 mm	110.518 MPa	1.94538	0.0041276 t	9.67742 mm
compare_optimisation Min Mass SF 1.2 (4)	7500	0.276964 mm	129.11 MPa	1.66525	0.0041276 t	9.67742 mm
compare_optimisation Min Mass SF 1.2 (4)	结果封套	0.555837 mm	149.614 MPa	4.54781	0.0041276 t	9.67742 mm

图 16-21

如果能够在早期快速、简便地对比多个概念的性能，则可以确定最佳的设计特点和潜在的问题区域，这也是设计过程的基本部分。

16.6 扩展阅读

1. 结果概述——位移

位移结果可用于线性静态分析和简正模式分析。在 Inspire 中，位移是比较基线设计和概念设计的有效手段。

对于静态分析，应对照以下各项对要考虑使用的载荷工况进行检查：

- 修改量级：位移是正确的值吗？如果一个组件的长为 100mm，那么 1000mm 的位移就是一个不正确的载荷或支撑的结果。它也可能是不正确的材料特性。
- 变形形状：通过为每一种载荷工况下的模型添加动画效果，即可检查结构偏移是否合理，如图 16-22 所示。异常偏移通常是未正确施加载荷或固定约束的结果。

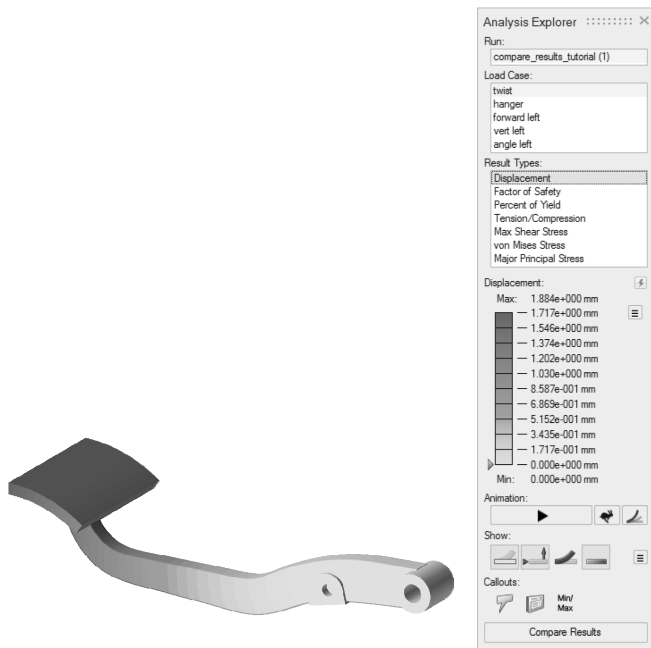


图 16-22

2. 结果概述——安全系数

安全系数是通过查看每个零件的应力与自身材料许用应力值比产生的。

安全系数 = 材料屈服应力 ÷ 实际应力

安全系数< 1.0（或接近 1.0）将被显示为红色表示可能失效的区域。安全系数越大结构越不可能失效。一个准确的安全系数，需要准确的边界条件、材料和网格。不存在适合所有应用环境的绝对安全系数。

3. 结果概述——屈服百分比

屈服百分比——安全系数的倒数。

屈服百分比 =（实际应力 ÷ 材料屈服应力）×100

屈服力是基于材料特性的。

屈服百分比 >100%（或接近 100%）将显示为红色，表示可能失效的区域。

屈服百分比越小，结构就越不可能失效。

4. 结果概述——拉伸与压缩

拉伸与压缩可以显示模型的哪些区域受到张力影响，哪些区域受到压缩力影响，这些结果是由冯米斯应力造成的。

5. 结果概述——第一主应力

最大主应力也被称为正应力，通常用于预测脆性材料的失效，如图 16−23 所示。

最大主应力的值达到单拉强度极限 st 或单压强度极限 sc 时，发生失效。

与米塞斯屈服准则相比，最大主应力准则如果应用于塑性材料，则可以被看作一个非常保守的方法。

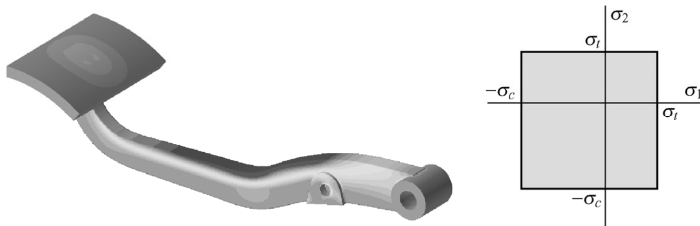


图 16−23

6. 结果概述——米塞斯等效应力

米塞斯屈服准则通常用于评估结构性能韧性材料。

就是说材料开始屈服——在许多情况下被认为是失败——当冯米塞斯应力达到屈服应力。

$$\text{方程}\ \sigma_v=\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{11}-\sigma_{22})^2+(\sigma_{22}-\sigma_{33})^2+(\sigma_{33}-\sigma_{11})^2+6(\sigma_{12}^2+\sigma_{23}^2+\sigma_{31}^2)]}$$

可以表示在二维情况下的椭圆，如图 16−24 所示。

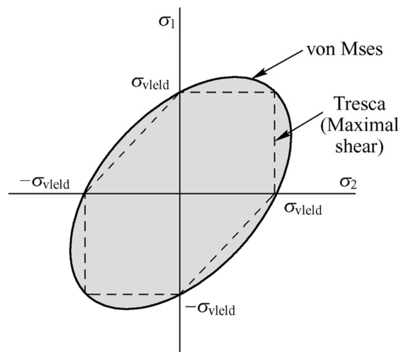


图 16−24

7. 结果概述——最大切应力

最大剪应力显示了用户产品因剪应力失效的情况，在二维情况下为六边形（Tresca）。

8. 结果概述——简正模式

模态分析能检查固有频率是否合理。结果类型中将显示每一阶振动的频率和振型，如图 16-25 所示。

自由振动分析不支持过盈配合和滑动、分离配合，可以添加约束来解决这一问题。

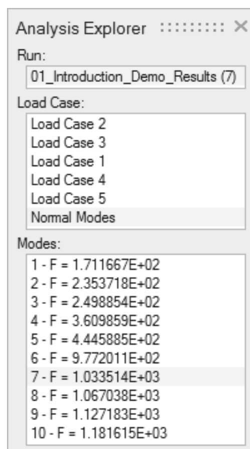


图 16-25

solidThinking®

INSPIRE
solidThinking®

以优化仿真驱动
全新设计流程！



- 概念阶段获得最优结构设计
- 操作便捷，即学即会
- 质量更轻、性能更优



EVOLVE
solidThinking®

产品造型设计利器！

- 高度融合的三维建模环境
  整合NURBS曲面/多边形/实体
- 拥有历史进程的参数化建模
- 逼真即时渲染





在线互动交流平台

官方微博：http://weibo.com/cmpjsj
豆 瓣 网：http://site.douban.com/139085/
读者信箱：cmp_itbook@163.com

solidThinking Inspire

优化设计基础与工程应用

本书详细介绍了solidThinking的拓扑优化软件Inspire的功能、使用方法，并介绍了使用该软件解决工程问题的案例。通过具体的软件操作过程帮助读者掌握软件功能以及在一些特殊工程情况下的使用技巧。

本书针对读者包括希望学习solidThinking软件的工程技术人员、高校学生和相关专业的教师。



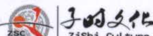
关注计算机分社官方微信，回复您购买图书书号中间的五位数字，即可获取本书配套资源下载链接，并可获得更多增值服务和最新资讯。

ISBN 978-7-111-55592-6

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203
网络服务
机 工 官 网：www.cmpbook.com
机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
金 书 网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版


机械工业出版社
微信公众号


机工IT互联网
工厂微信服务号

上架指导 计算机/辅助设计
ISBN 978-7-111-55592-6
策划编辑◎张淑谦
封面设计◎


51CTO.com
技术成就梦想



定价：49.00元